

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN PERTENECIENTE AL CANTÓN CAÑAR.”

Trabajo de titulación previo a
la obtención del Título de
Ingeniero Químico

AUTORA:

María Lorena Iglesias Ordóñez
C.I. 0302903323

ASESOR:

Ing. Juan Diego Espinoza Gárate M.S.C
C. I. 0301989448

DIRECTORA:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa M.S.C
C.I. 0104044474

Cuenca – Ecuador
2018



RESUMEN

Debido a la gran variación de color y escasa turbiedad que presenta el agua cruda al ingresar a la PTC en épocas de lluvia, ha ocasionado un tipo de agua que abarca características que la hacen muy difícil de coagular, por lo cual se ha desarrollado un estudio orientado a cumplir con ciertos objetivos que ayudan a mejorar esas características, mediante la ejecución de ensayos en el equipo de Jarras, contribuyendo con la mejora de los procesos de clarificación del agua constituidos por: coagulación, floculación y sedimentación; así como de los procesos posteriores y de esa manera brindar un servicio de excelente calidad, trabajando por la mejora continua y dando a la ciudadanía la seguridad de un agua que cumple con los requisitos que indica la norma técnica ecuatoriana.

A lo largo del trabajo se obtuvo una curva de dosificación de Sulfato de Aluminio tipo B en función del color, turbiedad y pH del agua cruda, además se determinó el ayudante de floculación y con ello la determinación de la dosis óptima del mismo, para así lograr la máxima remoción de partículas que generen aspectos indeseables en el agua potable.

Para cumplir con los objetivos planteados, las muestras de agua fueron tomadas en periodos establecidos y a partir de ellos se ejecutaron diferentes ensayos de Test de Jarras. Los resultados de cada ensayo fueron recopilados, ordenados y analizados a fin de facilitar su evaluación, mediante el uso de tablas y gráficos que aportaron para un mejor entendimiento el comportamiento del agua.

PALABRAS CLAVES: POTABILIZACIÓN, AYUDANTES DE COAGULACIÓN, DOSIFICACIÓN, POLÍMERO, CURVA, DOSIS ÓPTIMA.



Abstract

Due to the great color variation and low turbidity that raw water presents when entering to the Canton Cañar Treatment Plant in rainy seasons, it has occasioned a type of water that encompass features that make it very difficult to coagulate, whereby a study has been developed oriented at meeting with certain objectives that help to improve these characteristics, through the execution of tests in the equipment of Jars, contributing with the improvement of the processes of water clarification constituted by: coagulation, flocculation and sedimentation; as well as the subsequent processes and in this way provide an excellent service of quality, working for continuous improvement and giving citizens the security of a water that meets the requirements indicated by the Ecuadorian technical standard.

Throughout the work a curve of dosage of Aluminum Sulfate type B was obtained in function of the color, turbidity and pH of the raw water, in addition the flocculation helper was determined and with this the determination of the optimum dose of the same, to achieve the maximum removal of particles that generate undesirable aspects in water.

To meet with the objectives set, the water samples were taken in established periods and from them they were executed in different testing of Jars Test. The results of each test were compiled, ordered and analyzed in order to facilitate their evaluation, through the use of tables and graphics that contributed to a better understanding of water behavior.

KEY WORDS: POTABILIZATION, COAGULATION HELPERS, DOSAGE, POLYMER, CURVE, OPTIMAL DOSE.



Contenido

Capítulo I	18
1. Conceptos básicos del Agua.....	18
1.1. Estructura química del Agua.....	18
1.1.1. Propiedades físicas del Agua.....	20
1.2. Plantas de Tratamiento de Agua.....	21
1.3. Procesos de Tratamiento del Agua	22
1.3.1. Coagulación del Agua.....	23
1.3.1.1. Sustancias empleadas en la Coagulación.....	25
1.3.2. Floculación del Agua	27
1.3.3. Sedimentación.....	30
1.3.4. Filtración.....	31
1.3.5. Desinfección	32
Capítulo II	34
2. Estado actual de la planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar	34
2.1. Captación y Conducción.....	36
2.2. Proceso de Coagulación y Floculación.....	37
2.3. Proceso de Sedimentación.....	38
2.4. Proceso de Filtración.....	39
2.5. Proceso de Desinfección.....	40
Capítulo III	41
3. Metodología.....	41
3.1. Proceso Experimental	41
3.1.1. Diagrama del Proceso Experimental.....	42
3.2. Muestreo del Agua.....	42
3.3. Caracterización del Agua cruda.....	43
3.4. Condiciones de operación de la Planta de Tratamiento para el proceso de Coagulación y Floculación	44
3.5. Dosis de Coagulante.....	45
3.6. Selección del polímero más eficiente	46
3.7. Dosis de Polímero	47
3.8. Dosificación de Soluciones.....	48
3.9. Prueba de Jarras.....	49



3.10. Recursos y Materiales	51
Capítulo IV	52
4. Datos Experimentales	52
Capítulo V	69
5. Resultados y Análisis	69
5.1. Caracterización de una muestra de Agua Cruda	69
5.2. Curva de Dosificación de Coagulante	70
5.2.1. Dosificación de Sulfato de Aluminio en función del caudal de operación del vertedero.	74
5.3. Determinación de Polímero más eficiente	76
5.3.1. Eficiencia del proceso de selección del Polímero Catiónico	81
5.4. Determinación de la dosis óptima de polímero 1560 PWG	83
5.4.1. Eficiencia del proceso de determinación de la dosis óptima del polímero catiónico 1560 PWG.	88
Conclusiones	90
Recomendaciones	92
Referencias	93



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Físicas del Agua.....	20
Tabla 2. Sustancias empleadas en el proceso de Coagulación.	25
Tabla 3. Condiciones de operación	44
Tabla 4. Ensayos realizados durante el mes de febrero	52
Tabla 5. Resultados del color y dosis óptima en el mes de febrero	53
Tabla 6. Resultados del Turbiedad y dosis óptima en el mes de febrero	54
Tabla 7. Condiciones de operación	55
Tabla 8. Resultados de Color y dosis óptima de polímero en el mes de febrero	56
Tabla 9. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de polímero en el mes de febrero.....	57
Tabla 10. Ensayos realizados durante el mes de marzo.....	57
Tabla 11. Resultados de Color, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo	59
Tabla 12. Resultados de Turbiedad, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.	62
Tabla 13. Resultados de Color, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.	63
Tabla 14. Resultados de Turbiedad, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.	64
Tabla 15. Resultados de Color y dosis óptima de coagulante en el mes de marzo.	65
Tabla 16. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de coagulante en el mes de marzo.	66
Tabla 17. Resultados de Color y dosis óptima de polímero en el mes de marzo.	67
Tabla 18. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de polímero en el mes de marzo.	68
Tabla 19. Resultados de la caracterización de una muestra de agua cruda de PTC.	69
Tabla 20. Tabla de caudales para la dosificación de Sulfato de Aluminio.	74
Tabla 21. Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de un color de 63 UPC.....	76
Tabla 22. Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de una turbiedad de 1.46 NTU.....	77
Tabla 23. . Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de un color de 51 PCU.....	79
Tabla 24. . Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de una turbiedad de 3,30 NTU.....	80
Tabla 25. Porcentaje de remoción de Color de polímeros PWG y PRAESTOL, primer ensayo. .	81
Tabla 26. Porcentaje de remoción de Turbiedad de polímeros PWG y PRAESTOL, primer ensayo.	81
Tabla 27. Porcentaje de remoción de Color de polímeros PWG y PRAESTOL, segundo ensayo	82
Tabla 28. Porcentaje de remoción de Turbiedad de polímeros PWG y PRAESTOL, segundo ensayo.	82
Tabla 29. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con parámetros iniciales de 63 UPC y 1.46 NTU.....	83



Tabla 30. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 51 UPC.....	84
Tabla 31. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 40 UPC.....	85
Tabla 32. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 31 UPC.....	86
Tabla 33. Datos para determinar dosis optima de polímero PWG de una muestra de agua con parámetros iniciales de 80 UPC y 5.13 NTU.....	87
Tabla 34. Eficiencia de Remoción de Color para la determinación de dosis optima de polímero 15-60 PWG	88



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Molécula de Agua con sus respectivas cargas.	18
Figura 2. Densidad electrónica en una molécula de agua.	19
Figura 3. Puente de Hidrogeno.	19
Figura 4. Diagrama de Flujo de los principales procesos de Potabilización del Agua.....	23
Figura 5. Floculador Hidráulico vertical.	29
Figura 6. Planta Potabilizadora de agua con Floculador Hidráulico Horizontal.....	29
Figura 7. Diagrama de proceso de la planta de potabilización de agua del Cantón Cañar.....	35
Figura 8. Válvulas que permiten el control y regulación del agua a la entrada de la PTC.	36
Figura 9. Tanque de llegada de agua cruda a la PTC.....	37
Figura 10. Adición de Coagulante, Regulador y Polímero.....	38
Figura 11. Floculador hidráulico vertical de la PTC.	38
Figura 12. Cámaras de floculación.	38
Figura 13. Sedimentador de flujo horizontal de la PTC.....	39
Figura 14. Filtros duales- Arena, Antracita.....	40
Figura 15. Vertedero triangular de la unidad de.....	40
Figura 16. Cámara de retención unidad de cloración.	40
Figura 17. Cilindros contenedores de Cloro gaseoso.....	40
Figura 18. Diagrama del Proceso Experimental	42
Figura 19. Etiqueta para rotulado de envases de PE.	43
Figura 20. Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio grado B.....	72
Figura 21. Dosis polímero vs Color final.....	76
Figura 22. Dosis de polímero vs Turbiedad final.....	78
Figura 23. Dosis de polímero vs Turbiedad final.....	79
Figura 24. Dosis de polímero vs Turbiedad final.....	80
Figura 25. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 63 UPC de color inicial.....	83
Figura 26. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 51 UPC de color inicial.....	84
Figura 27. Dosis optima de coagulante para una muestra de agua con 40 UPC de color inicial.....	85
Figura 28. Dosis optima de coagulante para una muestra de agua con 31 UPC de color inicial.....	86
Figura 29. Dosis optima de coagulante para una muestra de agua con 80 UPC de color inicial.....	87
Figura 30. Determinación de dosis óptima de polímero 15-60 PWG.	89



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

María Lorena Iglesias Ordóñez en calidad de autor de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN PERTENECIENTE AL CANTÓN CAÑAR", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de mayo de 2018

María Lorena Iglesias Ordóñez

C.I: 0302903323



Cláusula de Propiedad Intelectual

María Lorena Iglesias Ordóñez, autor/a del trabajo de titulación "OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN PERTENECIENTE AL CANTÓN CAÑAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 29 de mayo de 2018

María Lorena Iglesias Ordóñez

C.I: 0302903323



Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de alcanzar esta meta tan importante en mi vida, por ser mi luz, mi guía y mi compañía durante este largo transcurso y por poner a personas maravillosas durante este caminar que me han asesorado y ayudado cuando más he necesitado.

A mis padres, Roberto y Gloria quienes me han apoyado siempre y han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional y comprensión.

A mi hermana Isabel y mi novio Milton, por ser las personas más tolerables, amorosas y comprensibles que hay en mi vida, gracias por todo el apoyo durante el camino.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Químicas y a los responsables de los laboratorios de Análisis Bromatológico y Análisis Ambiental, quienes gentilmente me abrieron las puertas para poder efectuar los análisis correspondientes.

De manera especial quiero agradecer infinitamente a mi directora de Tesis, Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa, quien me asesoró, guio y permitió que este trabajo se realice y llegue a su culminación con éxito, gracias por sus sabios consejos, su tiempo, motivación y paciencia. De igual manera quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor de tesis, Ing. Juan Diego Espinoza, quien estuvo siempre pendiente que se lleve a cabo perfectamente este trabajo, gracias por sus conocimientos y apoyo impartidos.

Quiero hacer un extensivo agradecimiento a la Ilustre Municipalidad del Cantón Cañar, quienes me permitieron realizar mi trabajo de titulación en la planta de Tratamiento de Agua Potable, en especial a la Dra. Gladys Muñoz Vélez, quien hizo posible la realización y ejecución de este trabajo, sin su apoyo nada se hubiera realizado, gracias por abrirme las puertas, acogerme y apoyarme desmedidamente, mi más sincero agradecimiento hacia su persona.



Dedicatoria

Este trabajo dedico a Dios por guiarme, iluminarme y darme fuerzas para seguir siempre hacia delante a pesar de las adversidades que se han presentado.

A mis padres Roberto y Gloria quienes son mi pilar y mi más grande motivación para salir siempre adelante, ya que son su amor, cariño, esfuerzo, entrega y dedicación puedo ser la persona que soy. Son un ejemplo de verdadera lucha y perseverancia, gracias por confiar ciegamente en mí y nunca dejarme sola, todos mis triunfos y logros se los dedico a ustedes.

A mi hermana Diana Isabel que ha estado siempre a mi lado a pesar de las diferencias que pudiéramos tener, por siempre tener palabras de aliento cuando más las he necesitado.

A Milton por estar siempre a mi lado apoyándome y nunca dejando que me rinda a pesar de que tan duro haya sido el camino. Por tu paciencia, amor y respeto comparto mis logros contigo.

A toda mi familia y amigos que me han apoyado y siempre han tenido una palabra de aliento y motivación cuando más lo he necesitado.



IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) una media de 4.500 niños menores a cinco años a nivel de todo el mundo muere por la falta de agua potable.

En el mundo aún hay 844 millones de personas sin acceso al agua potable, 2.000 millones de personas beben agua de fuentes contaminadas y 2.400 millones no tienen acceso al saneamiento.

Hoy en día, el agua es uno de los recursos renovables más importantes e indispensables tanto para la vida humana como para la supervivencia de las especies existentes en el planeta Tierra. Para que el agua sea considerada como agua potable es necesario que pase por varias etapas las mismas que dependerán del estado inicial que esta se encuentre.

En la Planta de Agua del Cantón Cañar, el agua para su potabilización pasa por seis etapas: captación de agua cruda, seguido de los tratamientos físico-químicos como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Las etapas como desbaste, tamizado y desarenado no se realizan en la planta de tratamiento ya que el agua de donde proviene es de fuentes superficiales y es llevada mediante un sistema de tubería hacia la planta que está ubicada a unos 17 Km, por lo cual se omiten estos pasos.

En la etapa de coagulación se emplea Sulfato de aluminio tipo B, también conocido como alumbre. Y como ayudante de floculación para obtener un mejor resultado en la remoción de color, turbiedad y microorganismos se emplea el Polímero 1560 PWG; la dosis respectiva de cada uno se realiza en base a la prueba de jarras.

El agua que llega a la planta se considera de buena calidad de acuerdo a los análisis que se realizan en la misma, además que no existe ninguna fuente de contaminación próxima tales como fábricas o cultivos. Pero en las épocas de lluvia uno de los parámetros que se ve afectado es el color del agua (marrón) que es percibido por los habitantes del Cantón Cañar. Sin embargo los parámetros de turbiedad no se ven



afectados, los mismos que se pueden corroborar con los análisis físicos realizados en el laboratorio del departamento de potabilización, cuyos valores oscilan entre 0 a 5 NTU.

El color en el agua se atribuye a la presencia de Hierro, Manganeseo y partículas coloidales en suspensión. En el laboratorio se analiza diariamente las concentraciones de Hierro conjuntamente con otras pruebas que indica la norma, siendo para el caso de Hierro un valor muy bajo (0,01 hasta 0,16) por lo que no es el principal responsable de la coloración del agua. Con la finalidad de reducir al máximo la coloración en épocas de lluvia y evitar que sea objetable por parte de los consumidores se pretende optimizar los procesos de Coagulación y Floculación. En base a esta necesidad y con el propósito de cumplir con lo que exige la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108: 2011 Cuarta Revisión. Agua potable. Requisitos, se pretende determinar la dosis óptima del coagulante para obtener una mayor desestabilización química de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, favoreciendo la aglomeración, debido a la neutralización de las fuerzas que los mantienen separados. Además se realizará la comparación entre dos poli electrolitos catiónicos, para ver el que más favorezca el crecimiento de los flóculos desestabilizados en la etapa de coagulación y lograr una sedimentación eficiente.



INTRODUCCIÓN

El cantón Cañar está localizada al sur de la república del Ecuador, en la provincia del mismo nombre (Municipal Intercultural del Cantón Cañar, 2013). Está a 3.160 msnm con una temperatura media de 11,8 °C (Municipal Intercultural del Cantón Cañar, 2013).

De acuerdo al censo realizado en el año 2010, tiene un total de 13.407 habitantes (Municipal Intercultural del Cantón Cañar, 2013), cantidad de pobladores que se abastecen con agua de calidad día a día, para lo cual se cuenta con una planta de tratamiento de Agua tipo convencional, ubicada en el sector La Capilla a 14 km del centro de la Ciudad. La planta se abastece de fuentes de agua superficiales del páramo de Patococha, el mismo que está a 17 km de la planta de tratamiento de agua ubicada en el sector La Capilla.

Aproximadamente hace 30 años atrás, tan solo el 50% de la población contaba con agua potable por 14 horas al día, porcentaje que ha cambiado rotundamente gracias al Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado que fue ejecutado en dos etapas, mediante el cual, se presume que el 100% de los habitantes del Cantón Cañar cuentan con agua potable las 24 horas del día (AGN, 2014: 4).

La primera etapa del Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado abarcó el cambio de redes de distribución y cambios en las conexiones domiciliarias para el centro de la ciudad así como sus zonas cercanas. En la segunda etapa se mejoró el sistema de captación de agua de las fuentes cercanas tales como de la vertiente de agua que está ubicada en Huayrapungo, lo cual garantiza el abastecimiento de agua por al menos 30 años más; además gracias a la segunda etapa se mejoró la conducción (por reconstrucción de 2 km de tubería que se hallaba en condiciones inadecuadas para este tipo de procesos), almacenamiento y tratamiento de agua.

De acuerdo con los anuarios meteorológicos de los años 2004 – 2008, los meses con mayor incidencia de lluvia corresponden a los meses entre Marzo y Mayo, fechas críticas que marcan la calidad de agua que se brinda a la ciudadanía. Por presentar



UNIVERSIDAD DE CUENCA

cambios en sus propiedades físicas tales como el color, siendo fácilmente objetable por los consumidores.

Por lo cual en este trabajo de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico se enfoca en la determinación de la dosis de coagulante y elección del mejor coadyuvante de floculación para lograr la mayor remoción de color existente en el agua, tratando de esa manera de eliminar factores que influyan en la calidad del agua, garantizando a la ciudadanía un agua exenta de microorganismos, bacterias o cualesquier tipo de materia coloidal que altere su estructura.



OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL:**

- ✓ Determinar la dosis óptima de coagulantes y polielectrolitos para la remoción de color en la Planta de potabilización de agua del Cantón Cañar.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- ✓ Realizar un diagnóstico de la situación actual de la Planta de Potabilización de agua del Cantón Cañar, ubicada en el sector la Capilla.
- ✓ Realizar una curva de dosificación de coagulante a partir de ensayos en la prueba de Jarras.
- ✓ Determinar el polielectrolito más eficiente para el proceso de floculación.
- ✓ Determinar la dosis óptima de polielectrolito en la etapa de floculación para la remoción de color.
- ✓ Estandarizar el proceso de coagulación – floculación en la planta de potabilización de agua del Cantón Cañar.



Capítulo I

FUNDAMENTO TEÓRICO

Teoría de potabilización del agua

1. Conceptos básicos del Agua.

1.1. Estructura química del Agua.

La molécula de Agua adopta una estructura aparentemente muy sencilla, está formado por 2 átomos de Hidrógeno (H^+) y un átomo de Oxígeno (O^-) unidos mediante enlaces covalentes polares.

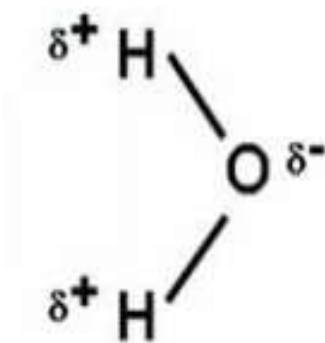


Figura 1. Molécula de Agua con sus respectivas cargas.
Fuente: (Peón, 2007)

Debido a la diferencia de cargas eléctricas existentes en la molécula se origina una distribución de la densidad electrónica irregular, esto debido a que el Oxígeno, uno de los elementos más electronegativos atrae hacia sí a los dos átomos de Hidrógeno, dando lugar a una mayor concentración de la densidad electrónica alrededor del átomo de oxígeno comparado con los átomos de Hidrógeno (Vaquero y Toxqui, 2012).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

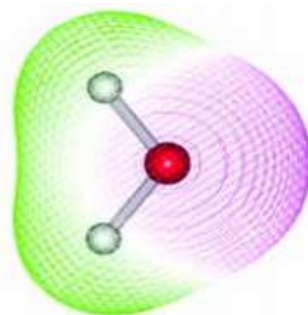


Figura 2. Densidad electrónica en una molécula de agua.

Fuente: (Peón, 2007)

Esta diferencia en sus cargas eléctricas da lugar a una especie de micro imán, conocido como dipolo, generando de ésta manera atracciones positivas-negativas unidas mediante enlaces intermoleculares denominados Puente de Hidrógeno (Badui, 2012).

El Puente de Hidrógeno es muy importantes ya que, es el responsable de las propiedades del agua que la hacen única e importante para mantener la vida en la tierra (Badui, 2012). Cada molécula de agua puede formar 4 puentes de Hidrógeno dando lugar a una estructura tetraédrica, lo cual permite la formación de una macro molécula muy estable (Badui, 2012).

El puente de hidrógeno se origina mediante la atracción ejercida por un elemento electronegativo en este caso (O^-) denominado “átomo aceptor” sobre el Hidrógeno (H^+) que se halla unido mediante un enlace covalente al oxígeno (O^-) de otra molécula de agua denominado “átomo donador”, el hidrógeno actúa como intermediario o puente para que se de la unión entre las diferentes moléculas (Peón, 2007).



Figura 3. Puente de Hidrogeno.

Fuente: (Peón, 2007)



Los puentes de hidrógenos formados son más débiles que los enlaces covalentes, pero la gran cantidad de puentes de hidrógeno formados convierte una estructura muy estable; siendo ésta la base para un mejor entendimiento de muchas de las propiedades del agua tales como puntos de ebullición muy elevados ya que se requiere de mucha energía para poder destruir los puentes de hidrógeno originados y así poder liberar las moléculas para que puedan pasar al estado gaseoso (Badui, 2012).

Otra de sus propiedades que es curiosa debido a la formación de los puentes de hidrógeno es la Densidad, la misma que disminuye al pasar al estado sólido (Badui, 2012). Esto se explica debido a que el agua al encontrarse en estado sólido los puentes de hidrógeno que se formaran están más dispersos permitiendo en su interior la incorporación de espacios libres ocupados por el aire, teniendo de esa manera un volumen aproximadamente de un 10% mayor y de menor peso que en el agua en estado líquido (Badui, 2012).

Además, se puede acotar que los puentes de hidrógeno son los responsables de la existencia de una elevada atracción y cohesión intermolecular en el agua líquida, los cuales originan una elevada tensión superficial, densidad y calor específico (Badui, 2012). Si se pone como ejemplo un calentamiento entre un aceite y el agua, se calentara primero el aceite ya que para calentar el agua se requiere de mayor energía la misma que será utilizada primero para destruir los puentes de hidrógeno y posteriormente para debilitar la tensión superficial (Badui, 2012).

1.1.1. Propiedades físicas del Agua.

Tabla 1. Propiedades Físicas del Agua

Descripción	Parámetro
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
Temperatura de ebullición	100°C
Temperatura de fusión	0°C
Densidad ρ	1000 Kg/m ³
Viscosidad μ	1.79 E-3 Ns/m ²
Tensión superficial γ	7.56E-2 N/m

Fuente: (González, s.f.)



1.2. Plantas de Tratamiento de Agua.

Una Planta de Tratamiento de Agua, se denomina al conjunto de operaciones unitarias empleadas para la remoción de agentes extraños (físicos, químicos y microbiológicos) en el agua que afectan su Calidad, generando problemas en la salud de los consumidores (Chulluncuy, 2011). El objetivo de una planta de tratamiento es reducir los contaminantes hasta alcanzar los límites permisibles que indican los diferentes organismos encargados, en nuestro caso la Norma NTE INEN 1108 (2011). Agua potable. Requisitos (Chulluncuy, 2011).

Existen algunos tipos de Plantas de Tratamiento de potabilización de agua, estas clases dependen de los procesos y de la tecnología que se emplea (Chulluncuy, 2011).

Dependiendo de los procesos que se emplean se tiene las **Plantas de Filtración Rápida** y las **Plantas de Filtración Lenta** (Chulluncuy, 2011).

- **Plantas de Filtración Rápida:** Emplean filtros que trabajan a elevadas tasas de filtración, existen dos tipos de plantas que son: completas y las directas. La diferencia entre estas dos es que, la primera está constituida por procesos físicos y químicos tales como: coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección. Mientras que la filtración rápida directa omite el proceso de decantación (Velázquez, 2015).

Se trabaja con plantas de filtración rápida directa, cuando se trata de un agua que presentan baja turbiedad, color y contaminación. Es ideal para aguas de represas o embalses (Velázquez, 2015).

- **Plantas de Filtración Lenta:** Los procesos que forman parte de este tipo de planta dependerán de la naturaleza del agua y pueden ser: procesos de desarenado, pre sedimentación, sedimentación, filtración gruesa o también conocida como filtración en grava y filtración lenta (Velázquez, 2015). Por los procesos que se ven, aquí no intervienen procesos químicos por lo cual se considera como una medida indiscutible para emplear este tipo de planta en aguas que tienen únicamente partículas en suspensión (Velázquez, 2015).



Con respecto a la tecnología que se utiliza pueden ser de tres tipos las plantas siendo estas: **Plantas convencionales antiguas, Plantas de tecnología apropiada y Plantas de tecnología importada o de patente** (Chulluncuy, 2011).

1.3. Procesos de Tratamiento del Agua

Los procesos que involucra una planta de tratamiento de agua o una planta potabilizadora, estarán de acuerdo a la calidad de agua que se disponga. Entre las etapas o procesos que se citan según Chulluncuy (2011) se tiene:

- Captación
- Desbaste
- Desarenado
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

En la figura 4 que se muestra a continuación, se observa un diagrama de flujo que da a conocer las principales etapas del proceso de potabilización del agua. En la misma se aprecia la etapa de **Captación** que por lo general se realiza mediante bombas desde los ríos, para luego ser llevados hasta canales que dirigen al agua cruda a la planta de potabilización. Seguido se tiene la etapa de **Desbaste**, que permite la separación del material más gruesos del agua (rocas, plásticos, ramas o cualquier otro tipo de material grueso), mediante rejillas (Chulluncuy, 2011). Los procesos físico-químicos corresponden a las etapas de Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección que serán tratadas con mayor profundidad más adelante.

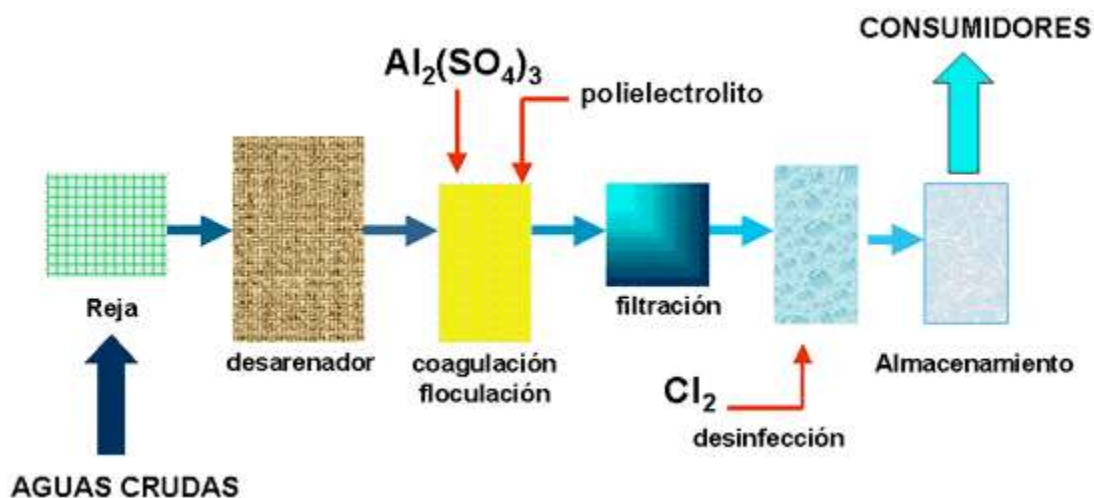


Figura 4. Diagrama de Flujo de los principales procesos de Potabilización del Agua.

Fuente: http://sameens.dia.uned.es/Trabajos9/Trab_Publicos/Trab_2/Rafiq_Candido_2/potabilizacion-del-agua.gif

1.3.1. Coagulación del Agua

Es un proceso de desestabilización química de las partículas que se hallan en suspensión (partículas coloidales, humus, microorganismos en general), mediante la incorporación de sustancias químicas y la intervención de fuerzas externas como la energía de mezclado (Salazar, Rojas y Carrillo, 2016). La desestabilización de las partículas se da por efecto de la neutralización entre las cargas de las partículas que generalmente son negativas y de las sustancias químicas añadidas (positivas) (Salazar, Rojas y Carrillo, 2016).

El proceso de coagulación resulta de dos fenómenos, el primero netamente químico y el segundo físico:

- El primer fenómeno netamente químico, que empieza cuando las sustancias químicas incorporadas reaccionan con el agua dando lugar a la formación de sustancias hidrolizadas que tienen carga positiva (Zerbatto, 2012).
- El segundo fenómeno que es físico, consiste en el traslado de las sustancias hidrolizadas que se han formado en el seno del líquido, hacia las impurezas del agua mediante la acción de fuerzas externas como una agitación rápida (Zerbatto, 2012).



Se trata de un proceso muy rápido, que toma aproximadamente décimas de segundo hasta 100 segundos y se realiza en una unidad de mezcla rápida, inmediatamente después de la mezcla rápida comienza un proceso de agitación lenta, esto con la finalidad que las partículas desestabilizadas choquen y se aglomeren para la formación del floc (Zerbato, 2012).

Existen algunos factores que influyen directamente en el proceso de coagulación los mismos que se indican a continuación (Salazar, Rojas y Carillo, 2016):

- **Influencia del pH:** es una de las variables más importantes a tener en consideración en el proceso de coagulación (Salazar, Rojas y Carillo, 2016). El rango óptimo de pH para que se lleve a cabo una coagulación rápida y eficaz depende de la naturaleza del agua a tratar (Jiménez, 2017). Cuando se emplean sustancias químicas (coagulantes) como, sales de Aluminio es necesario que el agua tenga un pH comprendido entre 6,5 y 8,5 (Jiménez, 2017). En el caso que se trabaje con sales de Hierro, el pH del agua deberá estar entre 5,5 y 8,5 (Jiménez, 2017).
- **Influencia de la Temperatura:** a menor temperatura del agua, más lento el proceso de formación del floc debido a que afecta a la energía cinética de las partículas que se hallan en suspensión, dando como resultado menor número de colisiones entre las mismas, y por consiguiente, se requiere de mayor tiempo para la formación del floc (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).
- **Influencia de la Turbiedad:** considerado como un indicador de la medida de la concentración de sustancias coloidales insolubles en el agua (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).
- **Influencia del coagulante:** cuando se incorpora un exceso de coagulante, se genera una mayor cantidad de microflóculos que tienen tamaños muy pequeños impidiendo la sedimentación rápida, debido a la inversión de la carga (Salazar, Rojas y Carillo, 2016). Por el contrario si se incorpora muy poco coagulante no se forman microflóculos debido a que no se ha neutralizado la carga (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).



- **Influencia de la mezcla:** debe ser una agitación uniforme e intensa con la finalidad de garantizar una mezcla perfecta entre el coagulante y el agua (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).
- **Influencia del tamaño de la partícula:** tamaños comprendidos entre 1 y 5 micras son considerados como núcleos del floc, lo ideal es que las partículas tengan menor a una micra de diámetro (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).
- **Influencia de sales disueltas:** la presencia de sustancias disueltas insolubles en el medio causará modificaciones en el pH, tiempo requerido para la floculación y requerirá el uso de una mayor cantidad de coagulante (Salazar, Rojas y Carillo, 2016).

1.3.1.1. Sustancias empleadas en la Coagulación

Para efectuar un correcto proceso de tratamiento del agua, se aplica en el proceso de Coagulación diferentes tipos de sustancias, tales como Coagulantes para desestabilizar al coloide y favorecer la formación del floc para que sedimente por acción de la gravedad, ayudantes de Coagulación, que se incorporan cuando los coagulantes adicionados forman un floc que tardará mucho tiempo en sedimentar por sí solo o cuando estos son frágiles, y los ajustadores de pH y alcalinidad, por ser indispensables en este proceso, ayudando a combatir la acidez del agua producida por la precipitación de hidróxidos (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

En la tabla 2 se indican las sustancias químicas empleadas, así como sus respectivas fórmulas y pesos moleculares.

Tabla 2. Sustancias empleadas en el proceso de Coagulación.

Descripción	Formula	Peso Molecular (<i>g/mol</i>)
Coagulantes		
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	594,4
Sulfato Ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	272
Cloruro Férrico	$FeCl_3$	162,2
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	400
Cloruro de Aluminio	$AlCl_3$	160,3
Policloruro de Aluminio	$Al_a(OH)_b(Cl)_c(SO_4)_d$	Variable
Poli sulfato de Aluminio	$Al_a(OH)_b(Cl)_c(SO_4)_d$	Variable
Policloruro de Hierro	$Fe_a(OH)_b(Cl)_c(SO_4)_d$	Variable
Ayudantes de Coagulación		



Sílice activada	SiO_2	60
Silicato de Sodio	$Na_2O(SiO_2)_{3-25}$	242-1562
Bentonita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	258
Poli electrolitos	Variable	Variable

Ajustadores de pH y Alcalinidad

Hidróxido de Sodio	$NaOH$	40
Hidróxido de Calcio	$Ca(OH)_2$	56.1
Carbonato de Sodio	Na_2CO_3	106
Aluminato de Sodio	$NaAlO_2$	163,9

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, s.f).

De la lista de Coagulantes presentados en la tabla anterior, se puede observar que los más utilizados son las sales de Hierro y Aluminio, reciben el nombre de coagulantes convencionales, pudiendo encontrarse en estado sólido o líquido (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). En la última década también han presentado gran aplicación las sales hidrolizadas de estos metales, siendo los conocidos PAC (Policloruro de Aluminio) y PAS (Poli sulfato de Aluminio), los mismos no tienen que ser confundidos con los polímeros, que son empleados como ayudantes de coagulación, ya que los primeros están definidos por formulas químicas que abarcan gran cantidad de compuestos con características y propiedades únicas que dan la fiabilidad a los PAC's para desenvolverse con un excelente rendimiento (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

El coagulante más utilizado es el Sulfato de Aluminio, por su costo y su fácil accesibilidad cuyo nombre comercial es Alumbre (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

Contiene aproximadamente el 17% de Alúmina (Al_2O_3), soluble en el agua. El inconveniente que éste presenta, es la formación de flóculos difíciles de sedimentar por sí solos en un tiempo corto, por lo que se suele colocar segundos después los ayudantes de coagulación (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). Cuando tratamos el agua con Sulfato de Aluminio o Alumbre, la reacción global generada es la siguiente:





Cuando el hidróxido de aluminio precipita, el resto de compuestos que permanecen en el agua son de carácter muy fuerte, equivalen a que si hubiéramos colocado ácido sulfúrico en el agua, por lo cual estos tienden a bajar el pH drásticamente y a consumir la alcalinidad del agua, para evitar el descenso de alcalinidad que ayuda a neutralizar la acidez producida, se incorpora además en este proceso las sustancias que ayudan con el ajuste tanto de pH como de alcalinidad (ver tabla 2) (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

Dentro del conjunto de sustancias que ayudan a la coagulación, también tenemos los Poli electrolitos, siendo unas sustancias orgánicas de cadenas moleculares muy largas (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013). El rango de aplicación es más extenso, pero la desventaja es su costo, por ello se aplica en concentraciones muy bajas y como ayudantes de los coagulantes metálicos especialmente de Alumbre o Sulfato de Aluminio (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013). Se clasifican entre tres grupos dependiendo de su carga eléctrica siendo estos los Polielectrolitos Catiónicos, que ayudan en la remoción de partículas con cargas negativas, estos son ampliamente ocupados para el tratamiento de aguas superficiales (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013). Polielectrolitos Aniónicos, remueven las cargas positivas presentes en el agua, son ayudantes de coagulación tanto de coagulantes de hierro como de aluminio (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013). Mientras que los Polielectrolitos No Iónicos, al ponerse en contacto con el agua producen iones con carga positiva y negativa, razón por la cual se requieren en mayor cantidad que los Polielectrolitos Catiónicos y Aniónicos, para obtener el mismo resultado (Guzmán, Villabona, Tejada & García, 2013).

1.3.2. Flocculación del Agua

El proceso que le sigue a la coagulación, es la etapa de Flocculación, que tiene por objeto la aglomeración o choque de las partículas coloidales que han sido neutralizadas mediante la adición de sustancias químicas a través de un mezclado lento que favorece el número de colisiones para la formación del denominado floc que sedimentara por la acción de la gravedad (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).



La floculación presenta dos etapas siendo estas: la Floculación Pericínética o Browniana y la Floculación Ortocinética o gradiente de velocidad (Calle y Zambrano, 2015).

- **Floculación Pericínética o Browniana:** se debe a la energía térmica del fluido o por el movimiento que tienen las partículas como consecuencia de la agitación, gravedad o peso de las mismas al descender (Calle y Zambrano, 2015).
- **Floculación Ortocinética o gradiente de velocidad:** se produce en la masa del fluido en movimiento por acción de una energía externa (rotación de paletas) (Calle y Zambrano, 2015).

El proceso se da en unidades llamadas floculadores, los cuales pueden ser clasificados dependiendo del tipo de mecanismo de agitación en mecánicos, hidráulicos e hidromecánicos (Melo & Herrera, 2016).

Los floculadores mecánicos necesitan de una fuente de energía exterior para mover el agitador que puede ser paletas o rotores.

Mientras que los floculadores hidráulicos emplean la energía del agua a través de una pérdida de carga hidráulica, los más utilizados son los floculadores hidráulicos verticales y horizontales (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f), pero también existen los floculadores hidráulicos Helicoidales y el Alabama (Hernández, 2014).

- **Floculador Hidráulico Vertical:** diseñado para plantas potabilizadoras de agua con caudales superiores a 50 L/s (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). Está constituido por una unidad de concreto, separado por tabiques, baffles o placas, donde el agua fluye hacia arriba y hacia bajo de manera alternada mediante unos orificios en las placas, tabiques o baffles que separan la estructura (Calle y Zambrano, 2015). Este tipo de estructura es más profunda (de 2 a 3 m) que los floculadores hidráulicos horizontales (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). La figura 5 que se indica a continuación nos sirve para tener un mejor entendimiento de este tipo de floculador (Calle y Zambrano, 2015).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

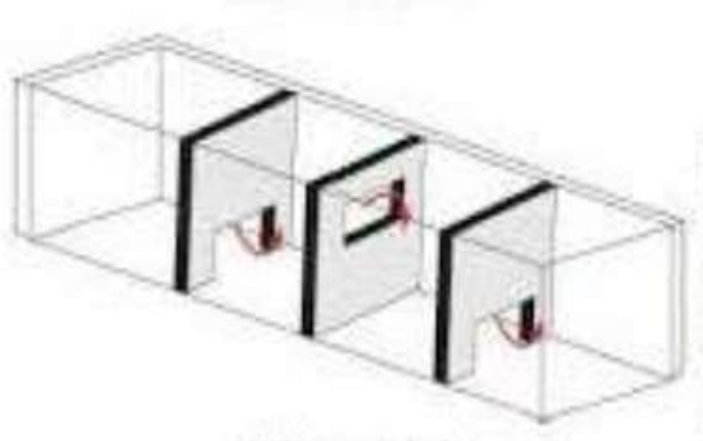


Figura 5. Floculador Hidráulico vertical.

Fuente: <https://es.slideshare.net/bogotta1994/reglamento-tecnico-del-sector-agua-potable-y-saniamiento>

- **Floculador Hidráulico Horizontal:** formado por placas, tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro tipo de materiales que permite el paso del agua por los extremos libres (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). Generalmente son empleadas en plantas potabilizadoras que trabajan con caudales menores a 50 L/s (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). La figura 6 que se presenta a continuación, indica una planta con floculador hidráulico horizontal.



Figura 6. Planta Potabilizadora de agua con Floculador Hidráulico Horizontal.

Fuente: <http://juntabanos.org/planta.html>



Para floculadores hidráulicos se recomienda que el gradiente de velocidad este comprendido entre 10 y 100 s^{-1} con un tiempo de retención entre 15 y 20 minutos (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

Tanto para floculadores Hidráulicos como en Mecánicos se emplea por lo general la floculación gradual, que consiste en ir reduciendo la velocidad del agua a medida que pase por cada pantalla, tabique o placa, de tal forma que al culminar la etapa de floculación el esfuerzo cortante sobre el flóculo que se ha ido formando sea mínimo, para obtener un mayor tamaño del flóculo (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

La desventaja que presenta el floculador hidráulico frente al mecánico es la existencia de una alta pérdida de carga, así como también la poca flexibilidad de control en el grado de mezcla cuando existen caudales variables (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f). Mientras que la ventaja involucra costos mínimos de mantenimiento y la inexistencia de equipo mecánico que incluyen costos extras tales como energía para su funcionamiento, mantenimiento y colocación (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

1.3.3. Sedimentación.

Se trata de un proceso netamente físico (Núñez, 2015) que tiene la finalidad de facilitar la precipitación de partículas más densas que el agua, gracias a su estructura, que sirve para reducir la velocidad del agua, de manera que sedimenten por acción de la gravedad en un tiempo aproximado a una hora (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f).

La etapa de Sedimentación también recibe el nombre de Clarificación (Comisión Nacional del Agua CONAGUA, s.f) y junto con la etapa posterior (Filtración), son consideradas como procesos complementarios, porque la primera permite la sedimentación de partículas menores a 0,2 mm (Espín, 2012); y la segunda la remoción de aquellas que no han sido eliminadas en la sedimentación o clarificación (Núñez, 2015).



Los sedimentadores pueden ser de diversas formas, tales como: rectangulares, cuadrados y cilíndricos (Illanes, 2014).

Se recomienda que se empleen en plantas potabilizadoras de agua los tanques rectangulares de flujo horizontal continuo, cuando no se disponga de personal que estén capacitados con su manejo y mantenimiento (Illanes, 2014).

1.3.4. Filtración

La finalidad de la etapa de Filtración en el proceso de potabilización del agua, es la remoción de material orgánico tal como algas y bacterias; además de material particulado que se halla en suspensión que no ha sido eliminado en la etapa anterior (Hinojosa, 2012) mediante el empleo de material granular, siendo el más empleado la arena (Merizalde, 2017).

Existen dos tipos de Filtración:

- **Filtración lenta o de baja carga superficial**
- **Filtración rápida o de alta carga superficial**

La Filtración lenta o de baja carga superficial, es muy usual encontrar en las zonas rurales, donde el agua bruta posee un nivel muy bajo de color y turbiedad; además por tratarse con caudales bajos (Merizalde, 2017). Este tipo de filtro está comprendido por una capa de grava en la cual reposa por lo general arena fina, son de fácil manejo y de bajo costo de mantenimiento (Merizalde, 2017). El principio de funcionamiento es de purificación biológica, gracias a la capa de lodos formado en la superficie de la arena (Merizalde, 2017).

Por su parte la Filtración rápida o de alta carga superficial, tiene un sistema operacional mucho más complicado (Merizalde, 2017), donde requiere la implementación de etapas anteriores tales como coagulación y floculación, para obtener una agua de calidad y que esté apta para el consumo humano; así por ejemplo, si se agrega una dosis elevada de coagulante tendremos como resultado un floc muy grande que será depositado en la superficie del filtro, impidiendo así el paso del agua a filtrar (Hinojosa, 2012). Caso



contrario, si se coloca muy poco coagulante, el floc será pequeño y atravesara sin ningún inconveniente el filtro (Hinojosa, 2012).

Se tratará con mayor profundidad la Filtración Rápida, por lo cual se presenta los tipos de filtros que se pueden encontrar según los autores Tejero, I., Suarez, J., Jácome A. & Temprano J. son:

- **Según la fuerza impulsora:** Filtros de gravedad y Filtros a presión.
- **Según su estructura:** abiertos (el agua está a presión atmosférica) y cerrados (presurizados).
- **Según el lecho:** mono capa (generalmente arena) y multicapa (antracita, arena, grava).
- **Según el flujo:** descendente (más común) y ascendente.

Por lo general, los filtros para plantas de potabilización que trabajan con caudales superiores a los 500 L/s son de tipo flujo descendente, abiertos y multicapa, es decir de lecho mixto: grava, arena silícea y antracita (Hinojosa, 2012).

1.3.5. Desinfección

El proceso de Desinfección del Agua, se realiza con el propósito de eliminar microorganismos patógenos, problemas de olor, eliminar el nitrógeno amoniacal así como también remover hierro y manganeso (Hinojosa, 2012).

Desinfección, se trata de un proceso selectivo, es decir en esta etapa todos los microorganismos presentes no se eliminaran, por lo que es necesario que se emplee como una etapa complementaria, tal como coagulación y floculación (Núñez, 2015).

La desinfección, garantiza la calidad del agua desde un punto de vista microbiológico e indica la inocuidad para ser consumida (Núñez, 2015).

Existen tres tipos de procesos que se emplean en la desinfección del agua, que son: procesos físicos, químicos y la radiación (Romero Mynor, s.f.). El proceso que menos se pone en práctica es el proceso físico que involucra la acción de calor, el proceso químico es ampliamente utilizado y los agentes oxidantes más frecuentes son el cloro (gaseoso o como hipoclorito de sodio o de calcio), dióxido de cloro y ozono; el tercer y



UNIVERSIDAD DE CUENCA

último proceso hace referencia a la radiación, siendo la más empleada de este método la radiación UV frente a los rayos X o a los rayos Y (Romero Mynor, s.f.).

En este trabajo se va a explicar la desinfección con cloro debido a que es el método más empleado por ser eficiente, fácil de manejar y de controlar el residuo que deja mediante la medición de cloro residual que se realiza in situ (Núñez, 2015). Entre las desventajas que tiene este método es su corrosividad y en muchos casos puede formar subproductos no deseados que pueden ser peligrosos para la salud (Núñez, 2015).

La cantidad de cloro a ser colocado en el agua se estima mediante el método de la demanda de cloro y punto de quiebre (Núñez, 2015).



Capítulo II

2. Estado actual de la planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar

La planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar (PTC), ubicada en la parroquia urbana de Chorocopte, sector La Capilla, se encuentra a 3.160 msnm con una temperatura que varía de 4 °C hasta los 18 °C, siendo su temperatura media de 11 °C (Argudo y Calle, 2015).

La planta fue diseñada en el mes de diciembre del año 1987, por la Asociación de Consultores Sanitarios y Ambientales cuyas siglas son ACSAM, asociación contratada a su vez por el Instituto Ecuatoriano de obras Sanitaria IEOS (Carpio, s.f).

La planta fue proyectada para trabajar con un caudal promedio de 50L/s (Carpio, s.f), la misma que cuenta con seis etapas para el debido tratamiento y potabilización del agua, dando lugar a una planta convencional completa.

A continuación se ilustra en la Figura 7 un diagrama de flujo de la PTC que indica de manera general las etapas del proceso que lo conforman.

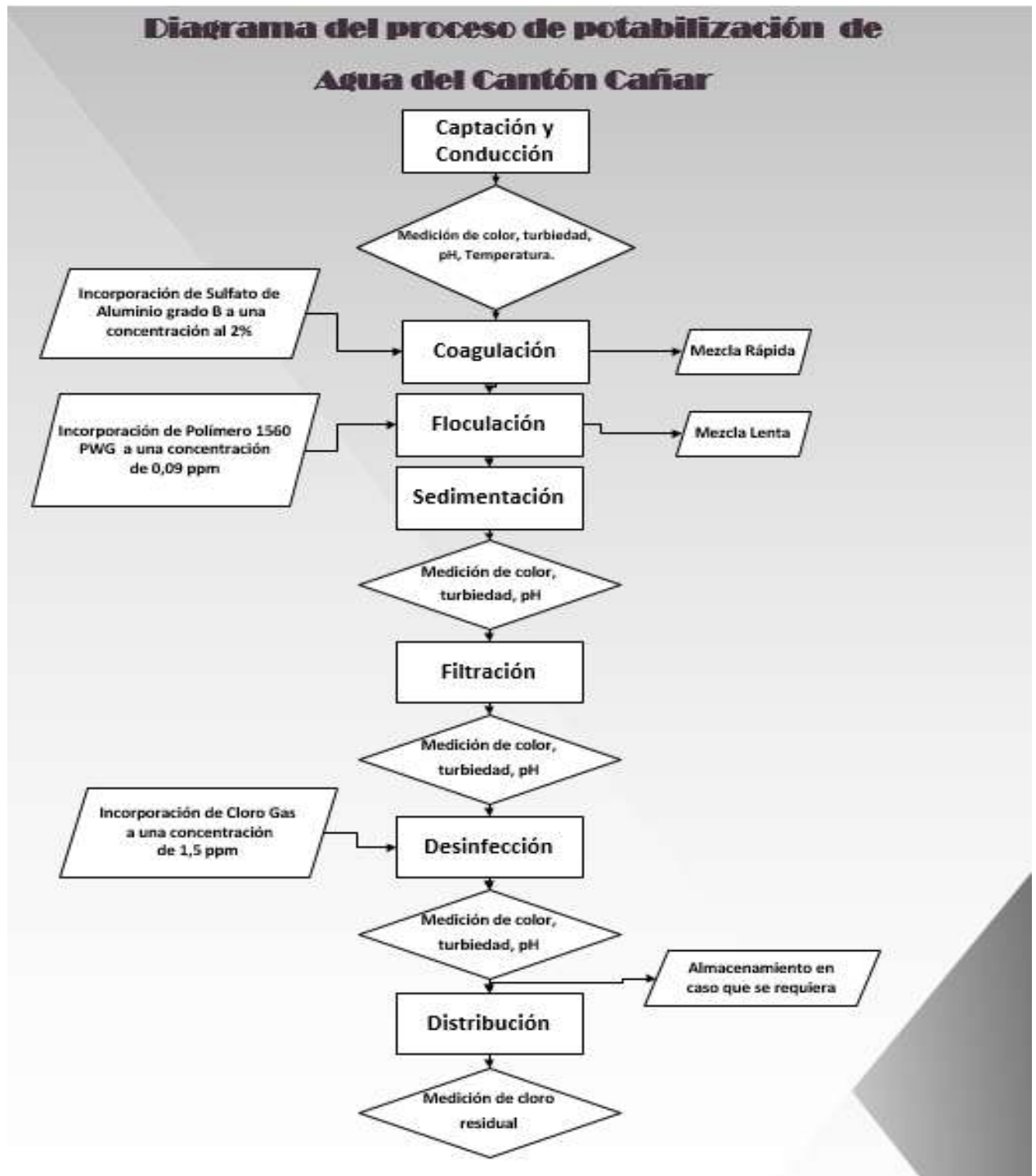


Figura 7. Diagrama de proceso de la planta de potabilización de agua del Cantón Cañar
Fuente: Autor.



2.1. Captación y Conducción

El Cantón Cañar se abastece de agua gracias a 13 vertientes superficiales localizadas en el páramo de Patococha (Carpio, s.f), todas estas se unen para formar una sola vertiente principal, dando lugar a la primera captación, localizada a 18 km de la planta de tratamiento, a partir de ahí, se dirige a la planta mediante tubería de PVC, garantizando de esa forma la calidad continua de agua a los consumidores del Cantón. Al inicio de la primera captación, se dispone de un filtro crudo de grava que ayuda para su posterior tratamiento, especialmente en la época de lluvia.

Una vez que el agua se dirige a la planta, ingresa a esta, mediante una válvula que permite el control y regulación de dicho fluido.



Figura 8. Válvulas que permiten el control y regulación del agua a la entrada de la PTC. .

Fuente: Autor.

El tanque de llegada de agua cruda, es un cajón rectangular de 1,80 x 1,05 m con una profundidad de 1,75 m; al costado cuenta con un vertedero triangular de 90 ° de acero (Carpio, s.f), estructura que sirve para efectuar la medición del caudal, el agua pasa inmediatamente a un segundo tanque, siendo también un cajón rectangular de 1,85 x 1,15 m y con una profundidad de 1,15m.



Figura 9. Tanque de llegada de agua cruda a la PTC.

Fuente: Autor

2.2.Proceso de Coagulación y Floculación.

A la salida de la unidad del tanque de llegada de agua cruda, se encuentra un vertedero, creando un salto hidráulico que permite la incorporación del coagulante, Sulfato de Aluminio al 2%, y el regulador en caso de ser necesario. El ayudante de coagulación, el polímero 1560 PWG se coloca segundos más tarde cuando la turbulencia ha disminuido, en una concentración de 0,09 mg/L.

Para la dosificación de la solución en el salto hidráulico, la planta dispone de un dosificador de vía húmeda de carga constante colocado en la pared del cajón de llegada de agua cruda, mediante el cual sale un fino tubo de PVC que permite la incorporación del coagulante al agua cruda, la cantidad de coagulante que se coloca al agua es controlado mediante un dispositivo acoplado a la salida del tanque y depende del caudal que se disponga.



Figura 10. Adición de Coagulante, Regulador y Polímero.

Fuente: Autor

La planta está dispuesta por 3 cámaras de Floculación hidráulica vertical, que dispone de 3 hiladas con 69 cámaras, dando un tiempo de 24,4 minutos de residencia (Carpio, s.f).



Figura 11. Floculador hidráulico vertical de la PTC.

Fuente: Autor



Figura 12. Cámaras de floculación.

Fuente: Autor

2.3.Proceso de Sedimentación

Se dispone de 2 unidades rectangulares de sedimentación acelerada de flujo horizontal ascendente de 6 metros de profundidad, el agua que sale de la unidad de floculación ingresa a un canal dispuesto de 24 tubos de PVC con un diámetro interior de 145 mm (12 tubos en cada unidad) (Carpio, s.f). La recolección de agua sedimentada se realiza



UNIVERSIDAD DE CUENCA

en la parte superior de las cámaras, mediante 3 tuberías de PVC cuyo diámetro interno de cada uno es de 200 mm con perforaciones a los lados de 1 cm de diámetro (Carpio, s.f).



Figura 13. Sedimentador de flujo horizontal de la PTC.

Fuente: Autor

2.4.Proceso de Filtración

El sistema de filtración de la planta de tratamiento del Cantón Cañar corresponde a la filtración rápida completa, constituida por 5 filtros de 6 metros de profundidad de lecho mixto (arena y antracita), de estructura abierta y fluido descendente. El control de agua sedimentada que ingresa a cada unidad de filtración, es controlada mediante vertederos triangulares ubicados en la parte superior de cada unidad.



Figura 14. Filtros duales- Arena, Antracita
Fuente: Autor



Figura 15. Vertedero triangular de la unidad de Filtración de la PTC
Fuente: Autor

2.5. Proceso de Desinfección.

Finalmente la desinfección, se desarrolla en el resalto que produce la salida del agua filtrada, mediante la aplicación de cloro gas en una concentración de 1,5 ppm, la cámara de contacto permite una retención de 30 minutos.



Figura 16. Cámara de retención unidad de cloración.
Fuente: Autor



Figura 17. Cilindros contenedores de Cloro gaseoso
Fuente: Autor



Capítulo III

3. Metodología

3.1. Proceso Experimental

El trabajo de investigación que se realizó está fundamentado básicamente en tres puntos claves los mismos que son:

1. Evaluación de la unidad de tratamiento y potabilización de agua del Cantón Cañar localizado en el sector La Capilla. Con este punto se aspiró evaluar las características físicas y químicas del agua cruda, tales como color, turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y conductividad, parámetros que fueron analizados de acuerdo a los límites que indica la Norma INEN 1108. Además se estudió el tratamiento actual al que el agua es sometido para la eliminación de color y turbiedad.
2. En función de las propiedades físicas y químicas del agua cruda, se establecen los mejores productos químicos, entendiéndose por estos a coagulantes y coadyuvantes de coagulación, para la mayor remoción de partículas coloidales que generan color en el agua. Adicionalmente se determinó la dosis óptima que genere el mejor floc; para todo ello se realizó varias pruebas a nivel de laboratorio empleando el equipo de Jarras (Test de Jarras) del laboratorio de Agua del Municipio Intercultural del Cantón Cañar y del laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Cuenca, tomando en consideración lo fundamentado en la norma internacional ASTM D2035-13. Las pruebas se realizaron en los dos laboratorios dependiendo de la disponibilidad de tiempo y espacio de cada uno. La diferencia entre un laboratorio y el otro es el número y la capacidad de jarras que cuenta el equipo. El equipo de la PTC tiene 6 jarras cada una con una capacidad de 2 litros (2000 ml), y de la Universidad consta de 4 jarras de 1 litro (1000ml).
3. El último ítem está involucrado con las opciones de mejora que se pudieran realizar en la planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar, basado en los resultados arrojados en cada una de las pruebas del Test de Jarras. Entre las opciones de mejora que se dispone es la construcción de la curva de dosificación



del coagulante (Sulfato de Aluminio grado B), curva que ayudará en el proceso de tratamiento y potabilización del agua; así como también la elección y determinación de la dosis del mejor ayudante de floculación.

3.1.1. Diagrama del Proceso Experimental

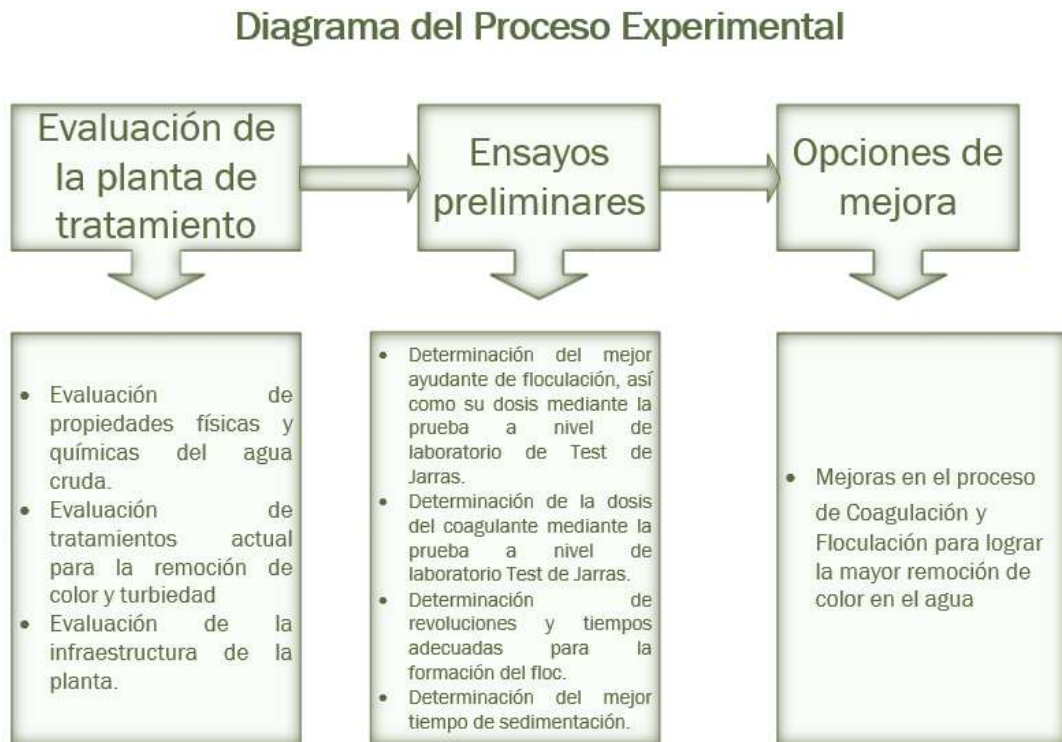


Figura 18. Diagrama del Proceso Experimental

Fuente: Autor

3.2. Muestreo del Agua.

Se ha tomado en consideración lo emitido en la norma ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. Primera edición, tomando en consideración que la muestra a recolectar es una muestra instantánea, puntual o individual; tomada al azar en agua corriente de la superficie (Norma 2176 ,2013).

Los recipientes empleados para la toma de la muestra fueron envases de polietileno de 20 litros de capacidad, volumen suficiente para realizar los análisis físicos y químicos requeridos (Norma 2176, 2013).



Por último el Rotulado del envase es algo fundamental y de gran importancia después del muestreo, ya que indica las condiciones en las que ha sido tomada la muestra, tales como: origen, hora y fecha (Norma 2176, 2013). Una vez llenado el formato de Rotulado, se adhiere inmediatamente al envase que contiene la muestra recolectada.

A continuación se presenta la etiqueta de Rotulado del envase que contiene la muestra, la información que se incorpora en el formato ha sido extraída de la norma ecuatoriana NTE INEN 2176. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.

MUESTRA DE AGUA. TESIS DE PREGRADO

SITIO DE MUESTREO: _____

NOMBRE DEL RECOLECTOR: _____

FECHA DE RECOLECCIÓN : _____

HORA DE RECOLECCIÓN: _____

Condiciones atmosféricas: _____

*Figura 19. Etiqueta para rotulado de envases de PE.
Fuente: Autor*

3.3. Caracterización del Agua cruda

El proceso que comprende la caracterización del agua cruda es una etapa importante, por lo que de ésta, depende los procesos y el tratamiento que se dará al agua. Entre los análisis que se realizaron a la muestra de agua para verificar el tipo de tratamiento y los



productos químicos empleados en la planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar ubicado en el Sector la Capilla fueron: alcalinidad total, dureza total, pH y conductividad. Estos se realizan inhabitualmente, es decir únicamente cuando se requiera este tipo de análisis.

Los análisis que serán realizados periódicamente, comprenden ensayos como: pH, temperatura, color y turbiedad. Los mismos que fueron efectuados a las muestras de agua cruda el momento que ingresaron a la planta y después de pasar por los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Los resultados obtenidos en cada uno de ellos, fueron comparados con los límites máximos permitidos por la NORMA TÉCNICA ECUATORINANA NTE INEN 1108:2011 Cuarta Revisión. AGUA POTABLE REQUISITOS.

3.4. Condiciones de operación de la Planta de Tratamiento para el proceso de Coagulación y Floculación

La planta de tratamiento de agua potable del Cantón Cañar ha sido diseñada para trabajar con un caudal de 50 L/s (Carpio, s.f). Las condiciones de operación de la planta de tratamiento con las que ha sido diseñada para el proceso de coagulación, floculación y sedimentación se indican en la tabla 3. Para cumplir con estas condiciones, lo primero que se realizó fue la calibración del equipo de jarras.

Tabla 3. Condiciones de operación

Memoria	Descripción	Gradiente de velocidad	Tiempo de retención
M1	Mezcla rápida	300 RPM	1 minuto
M2	Mezcla lenta	60 RPM	7 minutos
M3	Mezcla lenta	28 RPM	11 minutos
M4	Mezcla lenta	17 RPM	4 minutos
M5	Sedimentación	0	15 minutos

Fuente: Autor

*M1, M2, M3, M4 y M5: Memorias que son programadas en el equipo de Jarras de acuerdo al diseño de la PTC.



3.5. Dosis de Coagulante

Para la determinación de la dosis de coagulante, se ejecutaron pruebas a nivel de laboratorio en el equipo de Jarras o Test de Jarras. Esta prueba a nivel de laboratorio no es más que una simulación de los procesos de clarificación.

La planta de tratamiento de agua del Cantón Cañar, emplea como coagulante Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$ grado B de PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A., en una solución al 2%, valor que ha sido definido como óptimo de acuerdo a estudios de tratabilidad efectuados por un consultor de Ingeniería Hidráulica, Sanitaria y Ambiental (Carpio, s.f).

3.5.1. Cálculos a nivel de Planta

A nivel de planta, para la preparación de la solución al 2% se emplea 20 Kg Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$ grado B y se diluye en 1.000 litros contenidos en un tanque, para la homogenización correcta de la solución se cuenta con un agitador mecánico.

Explicación

✓ Solución al 2% de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$

En la planta se pesa 20 Kg de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$ y se coloca en 1.000 L de agua, lo primero que se realizará es la transformación a ppm o mg/L , medida de concentración que indica las partes de soluto que están contenidas en un millón de partes de solución.

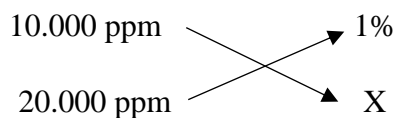
$$\frac{20 \text{ Kg}}{1.000 \text{ L}} * \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 20.000 \text{ ppm}$$

Se puede tomar en cuenta la relación siguiente, para poder pasar de ppm a porcentaje.

$$10.000 \text{ ppm} \quad 1\%$$



Entonces



$$X = 2\%$$

3.6. Selección del polímero más eficiente

En el mercado existe una gran gama de polímeros que se pueden emplear en los procesos de potabilización del agua, el uso y empleo de cada uno de ellos dependerá de su carga y de las partículas que se hallan en el agua. Además se deberá tener presente que el polímero a escoger presentará características que mejore notablemente el proceso, no ser peligroso para la salud, amigable con el medio ambiente y que tenga bajo costo.

Para la selección del polímero se realizó pruebas en el equipo de jarras, empleando dos tipos de polímeros catiónicos. Uno de ellos es el polímero 1560 PWG que es empleado en la PTC, se trata de un polímero sólido de alto peso molecular de carga catiónica media, aprobado por la NSF para agua potable.

Y el polímero PRAESTOL 650 TR, que es un copolímero de acrilamida con derivados del ácido acrílico catiónico de apariencia granular blanco o amarillento y olor ligero amina.

Para la selección se realizó varias pruebas, teniendo como variable el tipo de polímero a escoger, para ello se colocó en cada jarra dosis iguales de coagulante, de acuerdo a valores de color y turbiedad analizados previamente, y dosis de polímero variables, si a una jarra se colocó 0,05 ppm a la siguiente se colocó 0,06 ppm y así sucesivamente. Finalizada la prueba se escogió el polímero que ayudó con la mejor formación del flóculo, es decir al floc más grande y pesado, produciendo así una remoción de color y turbiedad notable.

Otra prueba que fue realizada para la selección del polímero más óptimo, consistió en tomar dosis diferentes de coagulante para cada jarra, es decir en una se colocó 20 ppm,



30 ppm, 40ppm y así sucesivamente; en tanto que la dosis de polímero será constante, 0,09 ppm (valor que es utilizado en la planta de tratamiento); se escogió aquel polímero que dio valores más bajos de color y turbiedad.

3.7. Dosis de Polímero

Una vez seleccionado el polímero más eficiente, se determinó la dosis óptima; teniendo en consideración que la solución de la cual se partió fue de 0,1% P/V. A partir de esa solución preparada se tomó alícuotas dependiendo del volumen de cada jarra a la concentración deseada.

Para llevar a cabo esta determinación, se tuvo presente que la constante es la concentración de coagulante y la variable es la dosis de polímero, la misma que fue colocada de forma ascendente para cada jarras. Por ejemplo si se colocó 40 ppm de coagulante en todas las jarras, en la primera de ellas se colocó 0,05 ppm de polímero a la segunda jarras 0,06 ppm de polímero y así sucesivamente hasta completar el número de jarras que disponga el equipo.

3.7.1. Cálculos a nivel de planta

A nivel de planta, para la preparación de la solución al 0,1% se emplea 1.000 g de Polímero 1560 PWG y se diluye en 1.000 litros contenidos en un tanque, para la homogenización correcta de la solución se cuenta con un agitador mecánico.

Explicación

✓ *Solución al 0,1% de Polímero 1560 PWG*

En la planta se pesa 1000 g de polímero 1560 PWG y se coloca en 1.000 L de agua. Lo primero que se realizara es la transformación a ppm o *mg/L*, medida de concentración que indica las partes de soluto que están contenidas en un millón de partes de solución.

$$\frac{1.000 \text{ g}}{1.000 \text{ L}} * \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 1.000 \text{ ppm}$$

Se puede tomar en cuenta la relación siguiente, para poder pasar de ppm a porcentaje.

$$10.000 \text{ ppm} \quad 1\%$$



Entonces

$$\begin{array}{ccc} 10.000 \text{ ppm} & \searrow & 1\% \\ 1.000 \text{ ppm} & \swarrow & X \end{array}$$

X = 0,1%

3.7.2. Cálculos a nivel de laboratorio

A nivel de laboratorio para la preparación de la solución al 0,1% se emplea 0,1 g de Polímero 1560 PWG o PRAESTOL 650 TR y se diluye en 100 ml de agua destilada, se homogeniza correctamente y se emplea la solución. Esto se realiza cada vez que se realice la prueba de jarras, en caso de que se requiera guardarla, no usarla después de 3 días de preparada la solución, con el fin de evitar la hidrólisis de la solución.

3.8. Dosificación de Soluciones

La ecuación que permitirá obtener la alícuota dependiendo de la concentración que se requiera es la ecuación que se acota a continuación, la misma que sirve para calcular disoluciones o concentraciones, según indica Giraldo (2014):

$$V1C1 = V2C2$$

Ecuación 1

Donde:

V1 = *Volumen de alicuota a determinar*

V2 = *Volumen de cada jarra*

C1 = *Concentracion de la solucion que se parte*

C2 = *Concentracion de la solucion que se desea*

✓ **Ejemplo de preparación de soluciones al 0,002 % o 20 ppm de Sulfato de Aluminio.**

Se parte de la solución de 20.000 ppm de Sulfato de Aluminio preparado y se emplea la ecuación de balance de masas para estimar la alícuota que se necesita.



Datos:

$$V1 = ?$$

$$V2 = 2.000 \text{ ml}$$

$$C1 = 20.000 \text{ ppm}$$

$$C2 = 20 \text{ ppm}$$

De la ecuación 1, se despeja V1

$$V1 = \frac{V2 \cdot C2}{C1}$$

Ecuación 2

Empleando la ecuación 2, y reemplazando los datos con los que se parte, se tendrá:

$$V1 = \frac{2.000 \text{ ml} \cdot 20 \text{ ppm}}{20.000 \text{ ppm}} = 2 \text{ ml}$$

Para preparar una solución de 20 ppm se requiere tomar una alícuota de 2 ml de la solución de 20.000 ppm y colocarla en un volumen de 2000 ml de agua.

Nota:

Para la preparación del resto de concentraciones de Sulfato de Aluminio como de Polímero se procedió de forma similar como se acota en el ejemplo anterior.

3.9. Prueba de Jarras

El objetivo de la prueba de Jarras o Test de Jarras, es la determinación de la dosis óptima tanto de coagulante (Sulfato de Aluminio) como del Ayudante de Coagulación (polímero) para la remoción de color y turbiedad del agua.

Modo de operación:

1. La muestra de agua que ha sido tomada para las pruebas deberá ser homogenizada.



2. En la muestra de agua se realizó la medición del color y turbiedad para tener los datos iniciales de la misma, con la finalidad de evaluar las condiciones finales luego del tratamiento.
3. Se procede a medir 3ml, 5 ml o 10 ml según sea el caso de coagulante previamente calculado mediante la ecuación 1 de balance de masas.
4. Se mide el volumen de polímero de acuerdo a los cálculos efectuados mediante la ecuación 1 de balance de masas.
5. Con una probeta graduada se mide volúmenes iguales de agua según sea la capacidad de cada jarra.
6. Colocar las jarras en el equipo, teniendo la precaución que las paletas estén centradas para evitar choques con las paredes de las mismas y así evitar rupturas.
7. Encender el equipo y su iluminador.
8. Colocar el volumen de coagulante en la muestra de agua contenida en cada una de las jarras. Se debe tener precaución el momento de colocar para evitar pérdidas, ya que son volúmenes pequeños que se emplean, así como también colocarlos de manera inmediata y simultanea para que no haya variación en los tiempos entre jarra y jarra.
9. Dar inicio a la prueba, para ello se programa de acuerdo a la tabla 3 que indica las condiciones de operación.
10. Pasado el tiempo de sedimentación se toma un volumen aproximado de 100ml del sobrenadante de cada jarra.
11. Se mide la turbiedad y el color resultante, los datos se anotan en el cuadro de control.
12. Se elige la dosis que produzca el color y turbiedad más baja.



3.10. Recursos y Materiales

Materiales:

- ✓ Envases plásticos de 20 litros para muestreo
- ✓ Frascos plásticos
- ✓ Probeta de 100 ml
- ✓ Balones de aforo de 100 y 250 ml
- ✓ Lunas de reloj
- ✓ Varillas de vidrio
- ✓ Vasos de precipitación de 100 y 250 ml
- ✓ Espátula
- ✓ Pipetas de 5 y 10 ml.
- ✓ Erlenmeyer

Equipos

- ✓ Balanza analítica Sartorius
- ✓ Equipo de prueba de jarras HACH/ ORBECO
- ✓ Espectrofotómetro HACH DR/2010
- ✓ Turbidímetro HACH 2100 Q
- ✓ Potenciómetro HACH
- ✓ Cronómetro
- ✓ Conductímetro
- ✓ Colorímetro HAZEN

Insumos

- ✓ Agua destilada
- ✓ Coagulante $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$
- ✓ Ayudante de coagulación 1560 PWG y PRAESTOL 750 TR



Capítulo IV

4. Datos Experimentales

Se realizó un total de 15 ensayos, 5 ensayos en el mes de febrero y los 10 restantes en el mes de marzo, para cada uno se empleó muestras de diferentes valores de color y turbiedad, además cabe recalcar que los primeros cuatro ensayos se realizaron en condiciones de operación de la planta tal como indica la tabla 3, a partir del quinto ensayo se modificó el tiempo de dosificación del polímero (ver tabla 7).

En la tabla 4, se indica los ensayos realizados durante el mes de febrero, adicionalmente se expone los valores de color y turbiedad inicial así como el tipo de polímero a emplear. Con respecto al coagulante empleado, es el Sulfato de Aluminio tipo B para todos los ensayos.

Tabla 4. Ensayos realizados durante el mes de febrero

# de Ensayo	Fecha que se realiza	Color Inicial (UPC)	Turbiedad Inicial (NTU)	Coagulante	Polímero
1	19/02/2018	54	1,76	Sulfato de Aluminio	1560 PWR
2	19/02/2018	58	2,01	Sulfato de Aluminio	1560 PWR
3	21/02/2018	125	12,7	Sulfato de Aluminio	1560 PWR
4	21/02/2018	35	3,03	Sulfato de Aluminio	1560 PWR
5	23/02/2018	63	1,46	Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none">• 1560 PWR• PRAESTOL

Fuente: Autor

La tabla 5 presenta los datos iniciales y residuales de color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras. Los resultados obtenidos de los ensayos 1, 2, 3 y 4 serán empleados más adelante para la construcción de la curva de dosificación de Sulfato de Aluminio.

Tabla 5. Resultados del color y dosis óptima en el mes de febrero

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)						Con. polímero 1560 PWG (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
1	20	30	40	50	60	70	0,09	54	83	28	13	25	47	66	40
2	42	44	45	46	48	49	0,09	58	38	50	51	35	34	26	49
3	10	20	30	40	50	-----	0,09	125	148	169	108	26	67	-----	40
	60	70	80	90	100	-----			50	61	56	63	37,5	-----	
4	10	20	30	40	50	-----	0,09	35	35	10	5	2,5	5	-----	40
	60	70	80	90	100	-----			7,5	12,5	20	27,5	40	-----	

Fuente: Autor

La tabla 6 presenta los datos iniciales y residuales de Turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de turbiedad luego de realizada la prueba de jarras.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 6. Resultados del Turbiedad y dosis óptima en el mes de febrero

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)						Con. polímero 1560 PWG (ppm)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
1	20	30	40	50	60	70	0,09	1,76	6,06	2,25	1,29	2,54	4,80	6,81	40
2	42	44	45	46	48	49	0,09	2,10	3,58	4,49	3,60	2,00	2,85	1,85	49
3	10	20	30	40	50	---	0,09	12,70	9,95	7,34	1,82	4,33	12,1	-----	40
	60	70	80	90	100	---			4,19	4,45	4,33	4,84	5,28	-----	
4	10	20	30	40	50	---	0,09	3,03	1,19	1,15	1,04	0,96	1,98	-----	40
	60	70	80	90	100	---			3,83	5,56	7,13	4,32	9,86	-----	

Fuente: Autor

**Nota:**

A partir de este ensayo, existe una variación en las condiciones de operación con respecto a la dosificación del poli electrolito, este cambio fue realizado después de llevar a cabo un análisis en el diseño de la planta con relación al momento de dosificar el ayudante de coagulación, asumiendo que el tiempo de dosificación del coagulante y del ayudante de coagulación son casi instantáneos, generando un mínimo tiempo de reacción entre el agua y el coagulante, razón por la cual se decidió dosificar el ayudante de coagulación minutos después.

Condiciones de operación*Tabla 7. Condiciones de operación*

Memoria	Descripción	Gradiente de velocidad	Tiempo de retención	
M1	Mezcla rápida	300 RPM	1 minuto	Dosificación de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14(H_2O)$
M2	Mezcla lenta	60 RPM	7 minutos	
M3	Mezcla lenta	28 RPM	11 minutos	Dosificación de Polímero
M4	Mezcla lenta	17 RPM	4 minutos	
M5	Sedimentación	0	15 minutos	

Fuente: Autor

* M1, M2, M3, M4 y M5: Memorias que son programadas en el equipo de Jarras de acuerdo al diseño de la PTC.



La tabla 8 presenta los datos iniciales y residuales de Color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua.

Tabla 8. Resultados de Color y dosis óptima de polímero en el mes de febrero

# Ensayo	Con. polímero 15-60 PWG (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
5	0,05	0,06	0,07	0,08	40	63	11	16	16	25	0,05
# Ensayo	Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis optima
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
5	0,05	0,06	0,07	0,08	40	63	26	16	17	15	0,08

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 9 presenta los datos iniciales y residuales de la Turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de turbiedad luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua.

Tabla 9. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de polímero en el mes de febrero

# Ensayo	Con. polímero 15-60 PWG (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
5	0,05	0,06	0,07	0,08	40	1,46	1,35	1,66	1,23	1,89	0,05

# Ensayo	Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
5	0,05	0,06	0,07	0,08	40	1,46	2,35	1,42	1,39	1,37	0,08

Fuente: Autor

En la tabla 10, se indica los ensayos realizados durante el mes de marzo, adicionalmente se expone los valores de color y turbiedad inicial así como el tipo de polímero empleado. Con respecto al coagulante empleado, es el Sulfato de Aluminio tipo B para todos los ensayos.

Tabla 10. Ensayos realizados durante el mes de marzo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

# de Ensayo	Fecha que se realiza	Color Inicial (UPC)	Turbiedad Inicial (NTU)	Coagulante	Polímero
6	08/03/2018	51	3,30	Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none">• 1560 PWG• PRAESTOL
7	08/03/2018	51	3,30	Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none">• 1560 PWG• PRAESTOL
8	08/03/2018	16	2,62	Sulfato de Aluminio	1560 PWR
9	09/03/2018	34	0,81	Sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none">• 1560 PWG• PRAESTOL
10	20/03/2018	40	1,73	Sulfato de Aluminio	1560 PWG
11	20/03/2018	40	1,73	Sulfato de Aluminio	1560 PWG
12	23/03/2018	31	2,75	Sulfato de Aluminio	1560 PWG
13	23/03/2018	31	2,75	Sulfato de Aluminio	1560 PWG
14	27/03/2018	80	5,13	Sulfato de Aluminio	1560 PWG
15	27/03/2018	80	5,13	Sulfato de Aluminio	15-60 PWG

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 11 presenta los datos iniciales y residuales del Color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y el polímero y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de color luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua, comparando entre el polímero 1560 PWG y PRAESTOL 650 TR.

Tabla 11. Resultados de Color, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo



UNIVERSIDAD DE CUENCA

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. polímero 1560 PWG (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
6	20	30	40	50	0,09	51	21	11	12	13	30
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
6	20	30	40	50	0,09	51	24	17	19	21	30
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. polímero 1560 PWG (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
9	30	35	40	45	0,09	34	18	41	23	44	30
	50	55	-----	----			46	58			
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
9	30	35	40	45	0,09	34	25	24	24	24	35
	50	55	-----	----			26	34	----	----	

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 12 presenta los datos iniciales y residuales de la Turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y el polímero y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Turbiedad luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua, comparando entre el polímero 1560 PWG y PRAESTOL 650 TR.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabla 12. Resultados de Turbiedad, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. polímero 15-60 PWG (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
6	20	30	40	50	0,09	3.30	1,53	1,03	1,11	0,92	30
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
6	20	30	40	50	0,09	3.30	2,06	0,79	1,41	2,00	30
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. polímero 15-60 PWG (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
9	30	35	40	45	0,09	0,81	2,58	1,67	2,29	3,74	30
	50	55	-----	----			4,41	5,66			
# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)				Con. Polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
9	30	35	40	45	0,09	0,81	1,,86	1,85	2,14	1,87	35
	50	55	-----	----			2,20	2,65	-----	-----	

Fuente: Autor



La tabla 13 presenta los datos iniciales y residuales del Color, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y el polímero y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Color luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua, comparando entre el polímero 1560 PWG y PRAESTOL 650 TR. La variante que presenta esta prueba frente a los ensayos que se indican en la tabla 11 y 12 es la concentración de polímero y se mantiene estable la concentración de Sulfato de Aluminio.

Tabla 13. Resultados de Color, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. polímero 1560 PWG (ppm)				Concentración Coagulante (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
7	0,06	0,07	0,08	0,09	40	51	6	5	8	14	0,06
# Ensayo	Con. polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)				Concentración Coagulante (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
7	0,06	0,07	0,08	0,09	40	51	10	17	17	15	0,06

Fuente: Autor



La tabla 14 presenta los datos iniciales y residuales de la Turbiedad, así como la dosis aplicada a cada una de las jarras y el polímero y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Turbiedad luego de realizada la prueba de jarras. Este ensayo tiene como objetivo la determinación del polímero más eficiente para el proceso de potabilización de agua, comparando entre el polímero 1560 PWG y PRAESTOL 650 TR. La variante que presenta esta prueba frente a los ensayos que se indican en la tabla 11 y 12 es la concentración de polímero y se mantiene estable la concentración de Sulfato de Aluminio.

Tabla 14. Resultados de Turbiedad, selección de polímero y de su dosis óptima en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. polímero 1560 PWG (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Turbiedad Inicial (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero 1560 PWG				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
7	0,06	0,07	0,08	0,09	40	3,30	0,96	0,69	1,07	0,86	0,06
# Ensayo	Con. polímero PRAESTOL 650 TR (ppm)				Con. Coagulante (ppm)	Turbiedad (UPC)	Turbiedad Final (UPC) Polímero PRAESTOL 650 TR				Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4			J1	J2	J3	J4	
7	0,06	0,07	0,08	0,09	40	3,30	0,99	1,55	1,33	1,23	0,06

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 15 presenta los datos iniciales y residuales del Color, así como la dosis aplicada de coagulante a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Color luego de realizada la prueba de jarras. El objetivo de estos ensayos fue la determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio para la posterior construcción de la curva de dosificación.

Tabla 15. Resultados de Color y dosis óptima de coagulante en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)						Con. polímero 1560 PWG (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
8	20	30	40	50	-----	-----	0,09	16	6	1	4	1	-----	-----	30
9	30	35	40	45	50	55	0,09	34	18	41	23	44	46	58	30
10	30	35	40	45	50	55	0,09	40	23	15	45	44	60	46	35
12	30	32	34	36	38	40	0,06	31	8	8	5	8	3	1	40
14	35	40	45	50	55	60	0,07	80	15	14	14	12	16	19	50

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 16 presenta los datos iniciales y residuales de la Turbiedad, así como la dosis aplicada de coagulante a cada una de las jarras y la dosis que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Turbiedad luego de realizada la prueba de jarras. El objetivo de estos ensayos fue la determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio para la posterior construcción de la curva de dosificación.

Tabla 16. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de coagulante en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. Coagulante (ppm)						Con. polímero 15-60 PWG (ppm)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
8	20	30	40	50	-----	-----	0,09	2,62	0,77	0,9	0,96	0,54	-----	-----	30
9	30	35	40	45	50	55	0,09	0,81	1,86	1,85	2,14	1,87	2,20	2,65	35
10	30	35	40	45	50	55	0,09	1,73	2,76	1,44	7,82	4,90	6,38	4,75	35
12	30	32	34	36	38	40	0,06	2,75	1,91	1,67	1,64	1,65	1,37	1,07	40
14	35	40	45	50	55	60	0,07	5,13	1,66	1,68	1,68	1,40	2,11	2,00	50

Fuente: Autor



La tabla 17 presenta los datos iniciales y residuales de Color, así como la dosis de polímero aplicada a cada una de las jarras que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Color luego de realizada la prueba de jarras. El objetivo de estos ensayos fue la determinación de la dosis óptima de polímero 1560 PWG.

Tabla 17. Resultados de Color y dosis óptima de polímero en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. polímero 1560 PWG (ppm)						Con. Coagulante (ppm)	Color Inicial (UPC)	Color Final (UPC)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
11	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	---	35	40	9	8	15	8	14	---	0,06
13	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	---	40	31	10	9	6	3	3	---	0,07
15	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	50	80	13	17	8	7	7	7	0,07

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD DE CUENCA

La tabla 18 presenta los datos iniciales y residuales de la Turbiedad, así como la dosis de polímero aplicada a cada una de las jarras que mejor resultado mostró en cuanto a remoción de Turbiedad luego de realizada la prueba de jarras. El objetivo de estos ensayos fue la determinación de la dosis óptima de polímero 1560 PWG.

Tabla 18. Resultados de Turbiedad y dosis óptima de polímero en el mes de marzo.

# Ensayo	Con. polímero 1560 PWG (ppm)						Con. Coagulante (ppm)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)						Dosis óptima (ppm)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6			J1	J2	J3	J4	J5	J6	
11	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	---	35	1,73	1,68	1,16	1,80	1,00	1,51	----	0,06
13	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	---	40	2,75	1,57	1,72	1,50	1,16	1,20	----	0,07
15	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	50	5,13	1,63	1,75	1,57	1,22	1,24	1,26	0,07

Fuente: Autor

Capítulo V

5. Resultados y Análisis

Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados al iniciar el trabajo de pregrado, los datos experimentales obtenidos mediante la Prueba de Jarras realizada en el laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Cuenca y en el Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Cañar, han sido recopilados y ordenados a fin de facilitar su evaluación.

5.1. Caracterización de una muestra de Agua Cruda

Para la caracterización de la muestra se empleó un total de 24 litros de agua cruda tomada al ingreso de la PTC, los ensayos fueron realizados en el laboratorio de Análisis Bromatológico de la Universidad de Cuenca. La caracterización de la muestra consiste en análisis físicos y químicos, que comprenden ensayos para determinar el Color, Turbiedad, pH, Conductividad, Dureza y Alcalinidad total.

Dependiendo de los valores iniciales de pH y Alcalinidad se establece el tipo de coagulante que se emplea, y en función del color y turbiedad inicial se parte para la dosificación de coagulante y de polímero en caso de ser necesario.

Tabla 19. Resultados de la caracterización de una muestra de agua cruda de PTC.

Parámetro	Valor medido Agua cruda	Unidades	LMP Norma INENN 1108 Agua potable
Color	35	Unidades de Color Aparente Pt-Co (UPC)	15
Turbiedad	3,03	NTU	5
Ph	6,87	-----	6,5-8,5
Conductividad	90	$\mu S/cm$	-----
Dureza total	49	mg/L $CaCO_3$	-----
Alcalinidad Total	60,18	mg/L $CaCO_3$	-----

Fuente: Autor

Análisis de Resultados

El agua que potabiliza la PTC se caracteriza por ser un agua de difícil coagulación, y de acuerdo a Silicatos y Derivados S.A. de C.V. (s.f.) pertenecería dentro de la



clasificación del agua según la influencia de Turbiedad y Alcalinidad al tipo IV, que refleja un agua con baja turbiedad y alcalinidad en todas las épocas del año. De acuerdo al registro de la PTC la turbiedad del agua cruda no ha superado el límite máximo permisible que indica la Norma INEN 1108. Lo que respecta al color, es un caso muy diferente, pues este varía razonablemente dependiendo de las condiciones meteorológicas, siendo así en épocas que no presenta lluvia, el agua que ingresa a la planta varía entre 3 a 22 UPC; muy por el contrario en épocas de lluvia, cuando el agua presenta valores elevados de color pudiendo llegar así hasta 125 UPC.

De acuerdo a la caracterización de la muestra de agua se puede decir que se trata de un agua que no tiene muchas sales disueltas, valor reflejado por la conductividad que es de $90 \mu S/cm$, además estando sus valores comprendidos entre 0 a $75 mg/L CaCO_3$ puede decirse que se trata de una agua blanda.

Es un agua libre de contaminación por dar un valor de $0 mg/L CaCO_3$ de alcalinidad con el indicador de Fenolftaleína, y su alcalinidad total es de 60,18; siendo un agua con baja alcalinidad, pudiendo en algunos casos requerir un ayudante para ajustarlo a valores más elevados.

Por lo expuesto, se podría decir que en la PTC, está correcto el proceso de coagulación con Sulfato de Aluminio grado B, por encontrarse el agua dentro del pH óptimo que marca el uso de ese coagulante, y además por emplear un ayudante de floculación (polímero catiónico) que permita juntar las partículas desestabilizadas mediante la generación de puentes, en masas con un mayor peso y volumen denominados flóculos, para lograr así una mayor remoción de color.

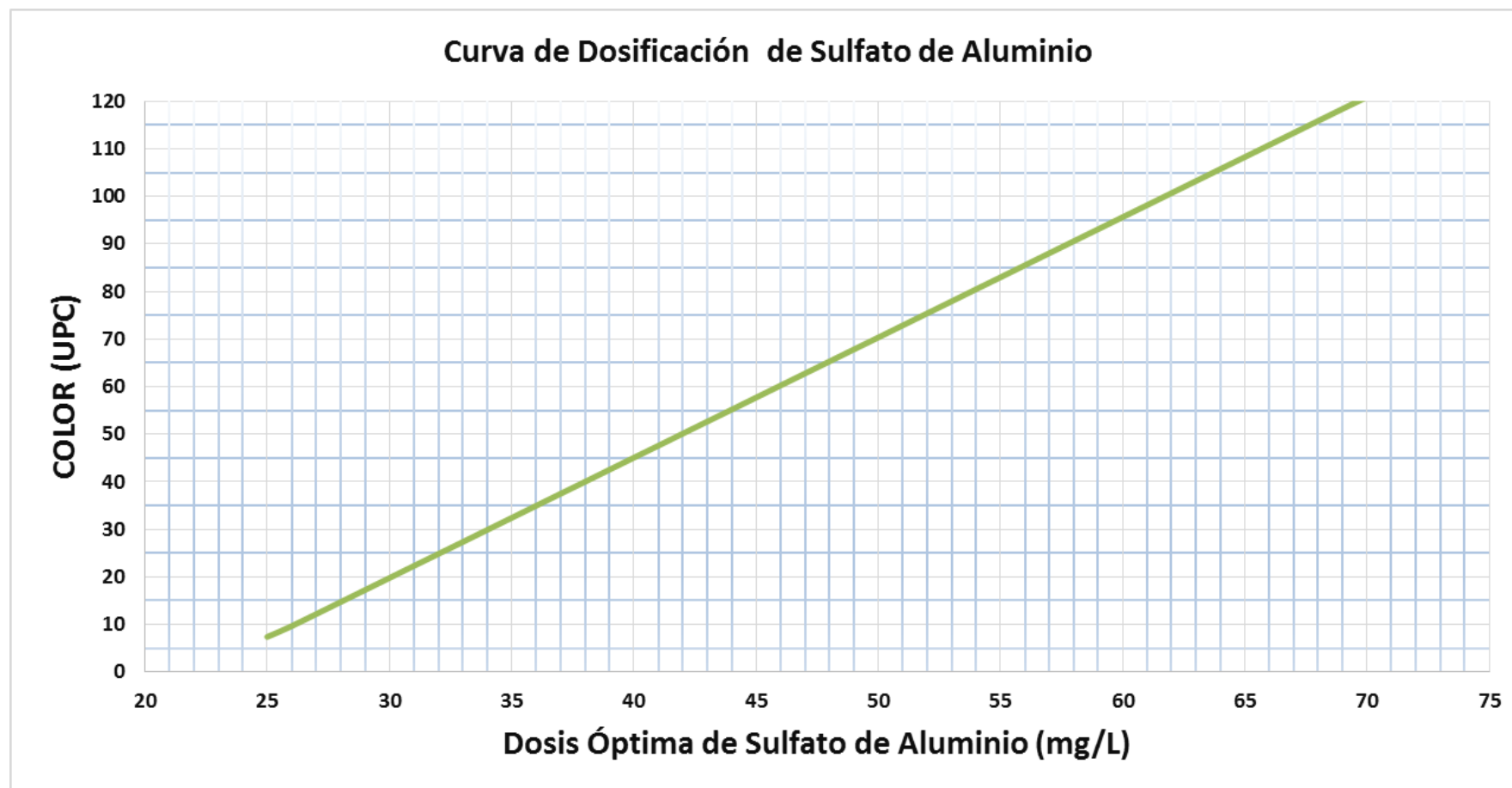
5.2. Curva de Dosificación de Coagulante

La curva de dosificación fue obtenida mediante diferentes pruebas realizadas en el equipo de Jarras de la Universidad de Cuenca y del Laboratorio de análisis de Agua de la PTC, los resultados obtenidos en cada ensayo fueron ordenados, analizados y estudiados para poder efectuar los debidos ajustes que requerían con la finalidad de construir la curva de dosificación; la misma que relaciona la Dosis de Sulfato de Aluminio grado B y el color inicial del agua que llega a la PTC. Con la obtención de la misma se pretende contribuir con una dosificación más óptima del coagulante en



UNIVERSIDAD DE CUENCA

función del color del agua, especialmente en épocas de lluvia que es cuando se presenta mayor variación. La figura 20 que se acota a continuación indica la curva de dosificación de sulfato de Aluminio grado B obtenida mediante ensayos en el equipo de jarras.



*Figura 20. Curva de Dosificación de Sulfato de Aluminio grado B.
Fuente: Autor*

Análisis de Resultados

El agua de la que se parte, hay que recordar que es un agua de difícil tratamiento debido a que en épocas de lluvia los valores son muy dispersos pudiendo ser de colores elevados y con turbiedades muy bajas, encontrándose por debajo del valor máximo permitido que indica la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 cuarta revisión. Agua Potable. Requisitos que es de 5 NTU para agua potable. Teniendo una turbiedad baja y alcalinidad baja, se trata de un agua tipo IV, muy difícil de coagular, de acuerdo a la clasificación del agua por la influencia de la Turbiedad y Alcalinidad en la coagulación.

Al finalizar cada uno de los ensayos que han servido para la construcción de la curva de dosificación de Sulfato de Aluminio grado B, se ha observado detalladamente el comportamiento de cada una de las jarras y de acuerdo a la calidad del sobrenadante en general, no es totalmente transparente, quedando flóculos sobrenadando en la superficie del agua, debido a que el floc formado no tiene el peso suficiente para ser sedimentado con facilidad y en su totalidad, pese a que se siguió el protocolo de velocidad y tiempo establecidos para los procesos de clarificación que mejor se han ajustado con respecto a la estructura y funcionamiento de la planta.

Con respecto a las características del flóculo, haciendo un breve recuento de todos los ensayos ejecutados, cuando se trata de una muestra de agua que tiene elevados valores de color y turbiedad (considerando elevada turbiedad por ejemplo 5,13 NTU) existe un mejor proceso de coagulación, generándose macro flóculos uniformes, visibles y de gran peso, provocando una mayor remoción de color y turbiedad; a diferencia de una muestra de agua con elevado color y bajos niveles de turbiedad, ocasionando flóculos de tamaño medio y muy livianos encontrándose dispersos por toda el agua, tratándose de flóculos cuya estructura es esponjosa y porosa, generando así una remoción no tan significativa en la turbiedad, pudiendo en algunos casos no disminuir nada y en otros incrementar la mínima turbiedad de la que se parte; con respecto al color si existe una remoción notoria. Por lo expuesto, se puede atribuir que de acuerdo al Índice de Willcob, el rango está estimado entre 4, 6 y 8. Según expresa Yagual y Torres (s.f.)

“un índice de 4, para flóculos **Dispersos**, flóculos bien formados pero uniformemente distribuidos que sedimenten muy lentamente o no sedimentan, un índice de 6, para flóculos **Claros**, flóculos de tamaño relativamente claro pero que precipitan con lentitud



y un índice de 8, para flóculos **Buenos** que sedimentan fácil pero no completamente (p.4)”

Se midió el pH de algunas muestras previas a realizar los ensayos y se comprobó que el pH se encuentra dentro de los parámetros considerados como óptimos para la coagulación con Sulfato de Aluminio. El pH se encuentra alrededor de 6,75; cumpliendo con el requisito para llevar a cabo un proceso adecuado.

De la curva de dosificación de Sulfato de Aluminio obtenida se saca la ecuación de la recta, el valor de “y” corresponden a la turbiedad del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento del cantón Cañar y “x” es la dosis que se requiere incorporar.

La ecuación de la Recta obtenida es:

$$y = 2,5277x - 56,023$$

Ecuación 2. Ecuación de la Recta

5.2.1. Dosificación de Sulfato de Aluminio en función del caudal de operación del vertedero.

Con la finalidad de facilitar la dosificación de Sulfato de Aluminio grado B, se construyó una tabla en función del caudal de operación del vertedero, con ello se pretende que el operador pueda dosificar el coagulante empleando la tabla de caudales con respecto a la altura del vertedero conjuntamente con la gráfica de dosificación (ver figura 20) para poder obtener el caudal de coagulante necesario dependiendo del color de agua cruda que ingresa a la PTC.

La tabla 20 que se indica a continuación indica la tabla de caudales para la dosificación del coagulante.

Tabla 20. Tabla de caudales para la dosificación de Sulfato de Aluminio.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO												
DOSIS	20 mg/L	25 mg/L	30 mg/L	35 mg/L	40 mg/L	45 mg/L	50 mg/L	55 mg/L	60mg/L	65 mg/L	70 mg/L	75mg/L
CAUDAL	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min
28	1.68	2.1	2.52	2.94	3.36	3.78	4.2	4.62	5.04	5.46	5.88	6.3
29	1.74	2.18	2.61	3.05	3.48	3.92	4.35	4.79	5.22	5.66	6.09	6.53
30	1.8	2.25	2.7	3.15	3.6	4.05	4.5	4.95	5.4	5.85	6.3	6.75
31	1.86	2.33	2.79	3.26	3.72	4.19	4.65	5.12	5.58	6.05	6.51	6.98
32	1.92	2.4	2.88	3.36	3.84	4.32	4.8	5.28	5.76	6.24	6.72	7.2
33	1.98	2.48	2.97	3.47	3.96	4.46	4.95	5.45	5.94	6.44	6.93	7.43
34	2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.1	5.61	6.12	6.63	7.14	7.65
35	2.1	2.63	3.15	3.68	4.2	4.73	5.25	5.78	6.3	6.83	7.35	7.88
36	2.16	2.7	3.24	3.78	4.32	4.86	5.4	5.94	6.48	7.02	7.56	8.1
37	2.22	2.78	3.33	3.89	4.44	5.00	5.55	6.11	6.66	7.22	7.77	8.33
38	2.28	2.85	3.42	3.99	4.56	5.13	5.7	6.27	6.84	7.41	7.98	8.55
39	2.34	2.93	3.51	4.10	4.68	5.27	5.85	6.44	7.02	7.61	8.19	8.78
40	2.4	3	3.6	4.2	4.8	5.4	6	6.6	7.2	7.8	8.4	9
41	2.46	3.08	3.69	4.31	4.92	5.54	6.15	6.77	7.38	8.00	8.61	9.23
42	2.52	3.15	3.78	4.41	5.04	5.67	6.3	6.93	7.56	8.19	8.82	9.45
43	2.58	3.23	3.87	4.52	5.16	5.81	6.45	7.10	7.74	8.39	9.03	9.68
44	2.64	3.3	3.96	4.62	5.28	5.94	6.6	7.26	7.92	8.58	9.24	9.9
45	2.7	3.38	4.05	4.73	5.4	6.08	6.75	7.43	8.1	8.78	9.45	10.13
46	2.76	3.45	4.14	4.83	5.52	6.21	6.9	7.59	8.28	8.97	9.66	10.35
47	2.82	3.53	4.23	4.94	5.64	6.35	7.05	7.76	8.46	9.17	9.87	10.58
48	2.88	3.6	4.32	5.04	5.76	6.48	7.2	7.92	8.64	9.36	10.08	10.8
49	2.94	3.68	4.41	5.15	5.88	6.62	7.35	8.09	8.82	9.56	10.29	11.03
50	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75	10.5	11.25
51	3.06	3.83	4.59	5.36	6.12	6.89	7.65	8.42	9.18	9.95	10.71	11.48
52	3.12	3.9	4.68	5.46	6.24	7.02	7.8	8.58	9.36	10.14	10.92	11.7
53	3.18	3.98	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54	10.34	11.13	11.93
54	3.24	4.05	4.86	5.67	6.48	7.29	8.1	8.91	9.72	10.53	11.34	12.15
55	3.3	4.13	4.95	5.78	6.6	7.43	8.25	9.08	9.9	10.73	11.55	12.38
REALIZADO POR: MARÍA LORENA IGLESIAS ORDÓÑEZ												

Fuente: Autor.



5.3. Determinación de Polímero más eficiente

Para la determinación se realizó dos ensayos en la prueba de Jarras, y los resultados obtenidos fueron graficados relacionando en cada uno de ellos la Dosis de Polímero vs el Color y la Dosis de Polímero vs la Turbiedad.

Primer ensayo

Tabla 21. Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de un color de 63 UPC.

Color Inicial (UPC)	Dosis Polímero (ppm)	Color Final PWR (UPC)	Color Final PRAESTOL (UPC)
63	0,05	11	26
63	0,06	16	16
63	0,07	16	17
63	0,08	25	15

Fuente: Autor

Partiendo de una muestra de agua tomada en condiciones meteorológicas lluviosas, cuyo valor inicial de color es 63 UPC y 1,46 NTU, se procede a determinar cuál es el poli electrolito más óptimo que contribuya con la mayor remoción de color. La figura 21 indica la relación existente entre la dosis de polímero PWG y PRAESTOL 650 TR y el color final medido al culminar la simulación en el equipo de prueba de Jarras.

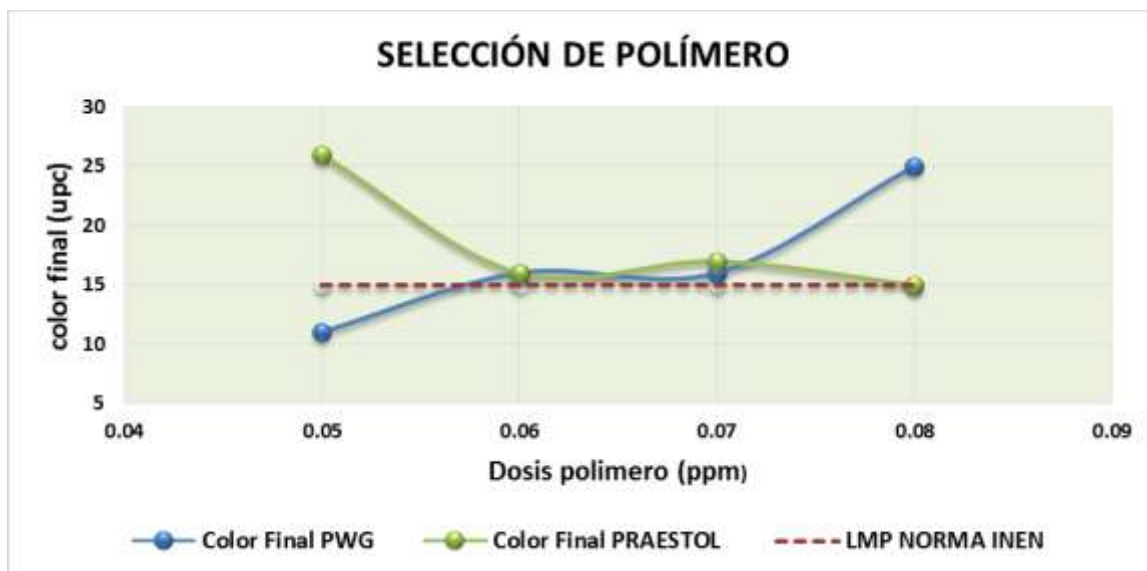


Figura 21. Dosis polímero vs Color final.



Análisis de Resultados

De acuerdo a la figura 21, el poli electrolito o polímero que contribuye con la máxima remoción de color es el polímero catiónico PWG, arrojando un valor de 11 UPC, valor que se encuentra por debajo del límite máximo permitido en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1108. Agua potable. Requisitos.

El comportamiento que presenta el polímero PWG y el polímero PRAESTOL 650 TR son muy diferentes, al primero cuando se dosifica una cantidad de 0,05 ppm se obtiene la mayor remoción de color muy por el contrario del segundo polímero que a la misma concentración se obtiene un mínimo de remoción, siendo este un valor de 26 UPC. A concentraciones de 0,06 y 0,07 ppm de polímero PWG y PRAESTOL 650 TR se observa un comportamiento casi imperceptible, muy por el contrario a dosis de 0,08 en donde el polímero PRAESTOL 650 TR da el valor más bajo de color, este valor es 15 PCU, y no es aceptado porque se encuentra al límite de lo que indica la Norma INEN 1108.

Tabla 22. Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de una turbiedad de 1.46 NTU

Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis Polímero (ppm)	Turbiedad final PWR (NTU)	Turbiedad final PRAESTOL (NTU)
1.46	0,05	1,35	2,35
1.46	0,06	1,66	1,42
1.46	0,07	1,23	1,39
1.46	0,08	1,89	1,37

Fuente: Autor

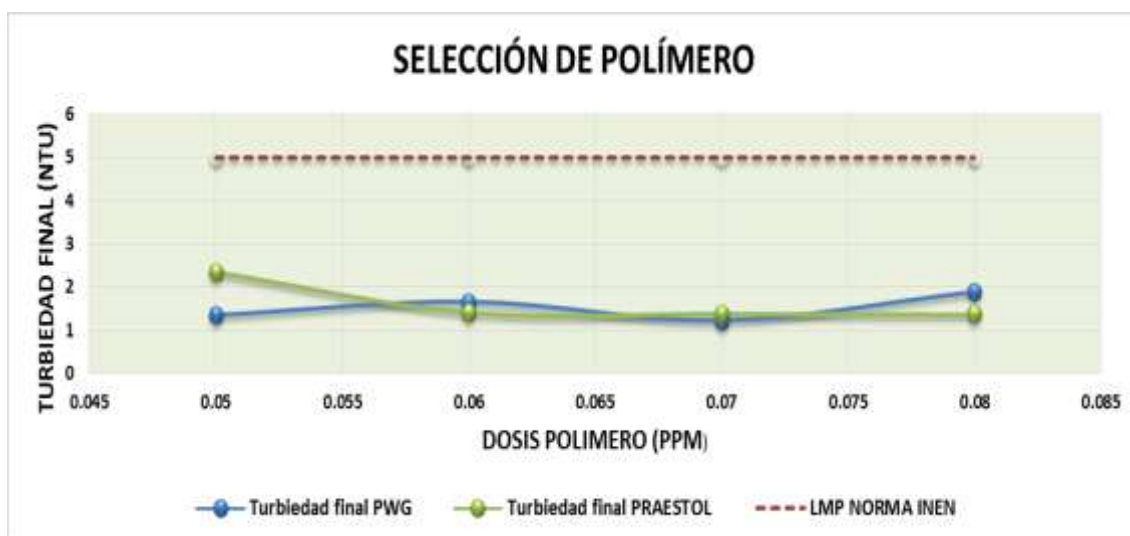


Figura 22. Dosis de polímero vs Turbiedad final.

Análisis de Resultados

La figura 22 que relaciona la dosis de los dos polímeros analizados vs la turbiedad final medida en Unidades Técnicas Nefelométricas (NTU), permite apreciar claramente que los resultados están por debajo del valor que acepta la norma ecuatoriana para la turbiedad que es de 5 NTU.

La relación entre los dos tipos de polímeros es similar, teniendo en cuenta que aquel polímero que proporciona la turbiedad más baja es el polímero PWG a una concentración de 0,07 ppm.

Es importante recordar que para llevar a cabo el proceso de cloración el agua debe tener un mínimo de 1 NTU, turbiedades que se asemejan mucho a ese valor con el polímero PWG, los mismos que varían desde 1,23 hasta 1,89 NTU; mientras que para el polímero PRAESTOL 750 TR los rangos de turbiedad varían desde 1,37 hasta 2,35 NTU, razón por la cual se elige el polímero PWG.



Segundo ensayo

Tabla 23. . Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de un color de 51 PCU.

Color Inicial (UPC)	Dosis Polímero (ppm)	Color Final PWR (UPC)	Color Final PRAESTOL (UPC)
51	0,06	6	10
51	0,07	5	17
51	0,08	8	17
51	0,09	14	15

Fuente: Autor

La segunda muestra de agua tomada en condiciones meteorológicas lluviosas, tuvo un valor inicial de color de 51 UPC y una turbiedad de 3,30 NTU, al igual que la primera muestra, se procede a determinar cuál es el poli electrolito más óptimo que contribuya con la mayor remoción de color. La figura 23 indica la relación existente entre la dosis de polímero PWG y PRAESTOL 650 TR y el color final medido al culminar la simulación en el equipo de prueba de Jarras.

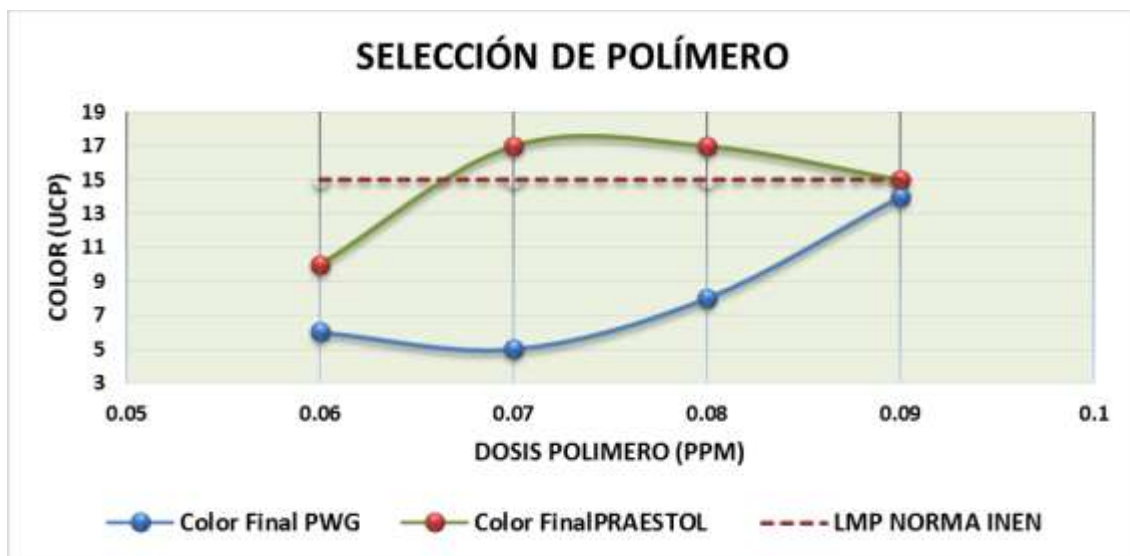


Figura 23. Dosis de polímero vs Turbiedad final.

Análisis de Resultados

Graficando los dos polímeros, se ve claramente que la simulación realizada con el polímero PWG da los valores de color final más bajos que el polímero PRAESTOL 650 TR, valores que desde la dosis más baja hasta la más alta aporta resultados de color



que están dentro del límite máximo permitido por la norma INEN 1108. A diferencia del polímero PRAESTOL 650 TR que aporta valores de color un tanto más elevados, y a concentraciones de 0,07 y 0,08 proporcionan valores que se encuentran fuera del límite máximo permitido, por lo que son rechazados.

Tabla 24. . Datos experimentales para obtener el polímero más óptimo partiendo de una turbiedad de 3,30 NTU

Turbiedad Inicial (NTU)	Dosis Polímero (ppm)	Turbiedad final PWR (NTU)	Turbiedad final PRAESTOL (NTU)
3.3	0,06	0,96	0,99
3.3	0,07	0,69	1,55
3.3	0,08	1,07	1,33
3.3	0,09	0,86	1,23

Fuente: Autor

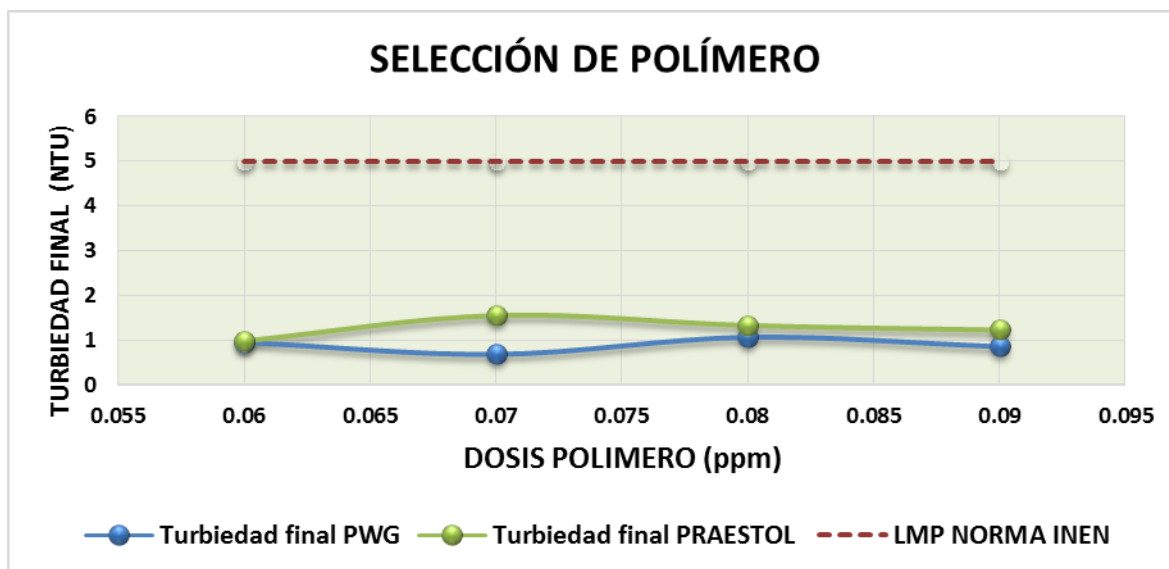


Figura 24. Dosis de polímero vs Turbiedad final.

Análisis de Resultados

Al culminar la simulación se aprecia que los valores de turbiedad más bajos se obtiene con el polímero PWG, sin embargo hay que recordar que el límite para poder pasar al proceso de cloración está marcado por una turbiedad mínima de 1 NTU, se escoge la concentración de 0,08 ppm de PWG que da un valor de 1,07 NTU, cumpliendo con ese requisito.



5.3.1. Eficiencia del proceso de selección del Polímero Catiónico

Para evaluar la eficiencia del proceso de selección del polímero catiónico se empleara la ecuación 2 que vincula el porcentaje de color inicial y final o turbiedad inicial y final según corresponda el caso (Yagual y Torres, s.f.).

$$\% \text{ Remocion} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} * 100$$

Ecuación 3. Ecuación para determinar la eficiencia del proceso

Porcentaje de remoción de color del primer ensayo.

Tabla 25. Porcentaje de remoción de Color de polímeros PWG y PRAESTOL, primer ensayo.

Color Inicial (UPC)	Color Final PWG (UPC)	Color Final PRAESTOL (UPC)	% Remoción PWG	% Remoción PRAESTOL
63	11	26	82,54	58,73
63	16	16	74,6	74,6
63	16	17	74,6	73,02
63	25	15	60,32	76,19

Fuente: Autor

Tabla 26. Porcentaje de remoción de Turbiedad de polímeros PWG y PRAESTOL, primer ensayo.

Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final PWG (NTU)	Turbiedad Final PRAESTOL (NTU)	% Remoción PWG	% Remoción PRAESTOL
1,46	1,35	2,35	7,53	-60,96
1,46	1,66	1,42	-13,7	2,74
1,46	1,23	1,39	15,75	4,79
1,46	1,89	1,37	-29,45	6,16

Fuente: Autor

Análisis de Resultados

Teniendo en consideración la Tabla 25 que indica el porcentaje de remoción del Color y la Tabla 26 que indica el porcentaje de remoción de la Turbiedad, el mejor polímero es el 1560 PWG, generando una remoción de color elevada de 82,54% y 7,53 % de Turbiedad. El valor bajo de remoción de turbiedad se debe, a que se parte de una turbiedad escasa (1,46 NTU), y se emplea además del Sulfato de Aluminio tipo B un ayudante de coagulación que se hidroliza en agua, generando la descomposición de sus elementos y al tener una turbiedad baja, los polímeros se pegan a las partículas



coloidales escasas, y no se generan suficientes puentes químicos que dan lugar a cadenas largas, desencadenando micro flóculos livianos que producen un incremento de turbiedad.

Porcentaje de remoción de color del segundo ensayo

Tabla 27. Porcentaje de remoción de Color de polímeros PWG y PRAESTOL, segundo ensayo

Color Inicial (UPC)	Color Final PWG (UPC)	Color Final PRAESTOL (UPC)	% Remoción PWG	% Remoción PRAESTOL
51	6	10	88,24	80,39
51	5	17	90,2	66,67
51	8	17	84,31	66,67
51	14	15	72,55	70,59

Fuente: Autor

Tabla 28. Porcentaje de remoción de Turbiedad de polímeros PWG y PRAESTOL, segundo ensayo.

Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final PWG (NTU)	Turbiedad Final PRAESTOL (NTU)	% Remoción PWG	% Remoción PRAESTOL
3,3	0,96	0,99	70,91	70
3,3	0,69	1,55	79,09	53,03
3,3	1,07	1,33	67,58	59,7
3,3	0,86	1,23	73,94	62,73

Fuente: Autor

Análisis de Resultados

Teniendo en consideración la Tabla 27 que indica el porcentaje de remoción del Color y la Tabla 28 que indica el porcentaje de remoción de la Turbiedad, el mejor polímero es el 1560 PWG, generando una remoción de color de 88,24% y 70,91 % de Turbiedad frente al polímero PRAESTOL 650 TR en donde el valor más elevado de remoción de color es de 79,09% y el 53,03% de turbiedad. En este caso se tiene valores elevados de turbiedad, ya que se parte de una muestra de agua que tiene 3,30 NTU y una turbiedad mientras más elevada favorece el proceso de clarificación del agua



5.4. Determinación de la dosis óptima de polímero 1560 PWG

Para la determinación de la dosis óptima de polímero se realizó un total de 5 ensayos comprendidos entre los meses de febrero y marzo, los resultados se indican a continuación.

Primer ensayo

Tabla 29. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con parámetros iniciales de 63 UPC y 1.46 NTU

Parámetros Iniciales	Dosis de polímero PWG (ppm)	Color Final (UPC)	Turbiedad Final (NTU)
63 (UPC) y 1.46 (NTU)	0,05	11	1,35
63 (UPC) y 1.46 (NTU)	0,06	16	1,66
63 (UPC) y 1.46 (NTU)	0,07	16	1,23
63 (UPC) y 1.46 (NTU)	0,08	25	1,89

Fuente: Autor

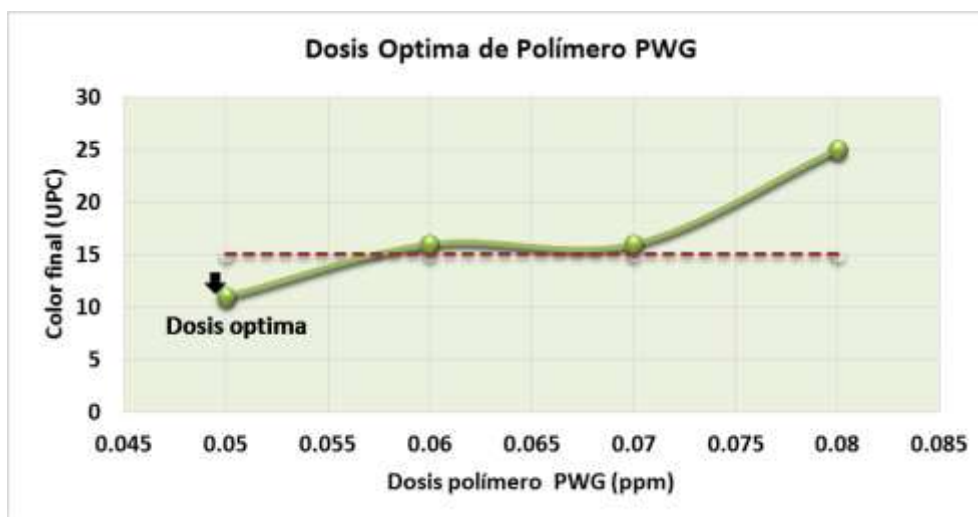


Figura 25. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 63 UPC de color inicial.

Análisis de Resultados

Partiendo de una muestra de agua cruda que llega a la PTC, cuyo parámetro inicial de color es elevado 63 UPC y turbiedad baja 1,46 NTU encontrándose bajo los límites permitidos para agua potable, al finalizar con la prueba de Jarras, la dosis óptima de polímero 1560 PWG es de 0,05 ppm, por dar valores de color que se encuentran dentro del límite máximo permitido por la norma NTE INEN 1108 con un valor de 11 UPC y 1,35 NTU. Con dosis de 0,06; 0,07 y 0,08 los valores del color son rechazados por encontrarse fuera del límite máximo permitido.



Cuando se trabaja con este tipo de agua que tiene valores elevados de color y turbiedad muy baja, el proceso de coagulación suele ser no óptima, el flóculo formado se ve con claridad pero no es lo suficientemente pesado como para sedimentar con facilidad. En estos casos el índice de Willcob da un valor de 4, que es un flóculo disperso, pero bien formado que sedimenta muy lentamente (Yagual y Torres, s.f.).

Segundo ensayo

Tabla 30. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 51 UPC.

Parámetros Iniciales	Dosis de polímero PWG (ppm)	Color Final (UPC)	Turbiedad Final (NTU)
51 (UPC) y 3,30 (NTU)	0,06	6	0,96
51 (UPC) y 3,30 (NTU)	0,07	5	0,69
51 (UPC) y 3,30 (NTU)	0,08	8	1,07
51 (UPC) y 3,30 (NTU)	0,09	14	0,86

Fuente: Autor



Figura 26. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 51 UPC de color inicial

Análisis de Resultados

Partiendo de una muestra de agua con valores de 51 UPC y 3,30 NTU, la dosis óptima es de 0,06 ppm de polímero 1560 PWG, por encontrarse dentro de los parámetros indicados por la norma ecuatoriana para agua potable, además porque la turbiedad final está próxima a 1 NTU, valor que es considerado como ideal para poder pasar al proceso de cloración.

Al tratarse de una muestra de agua que tiene valores elevados de color y turbiedad comparados con los valores que se tiene en una muestra de agua cuando no ha llovido, el proceso de clarificación del agua es mucho más eficaz, logrando así resultados muy



favorables, que se encuentran por debajo del límite máximo permitido y con mayor remoción de turbiedad, lo que no sucede con otras muestras cuando se tiene una turbiedad baja. Es por ello que el índice de Willcob es de 8, cuando el flóculo es bueno, se ve con claridad y se deposita fácil pero no en su totalidad (Yagual y Torres, s.f.).

Tercer ensayo

Tabla 31. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 40 UPC

Parámetros Iniciales	Dosis de polímero PWG (ppm)	Color Final (UPC)	Turbiedad Final (NTU)
40 (UPC) y 1,73 (NTU)	0,05	9	1,68
40 (UPC) y 1,73 (NTU)	0,06	8	1,16
40 (UPC) y 1,73 (NTU)	0,07	15	1,8
40 (UPC) y 1,73 (NTU)	0,08	8	1
40 (UPC) y 1,73 (NTU)	0,09	14	1,51

Fuente: Autor

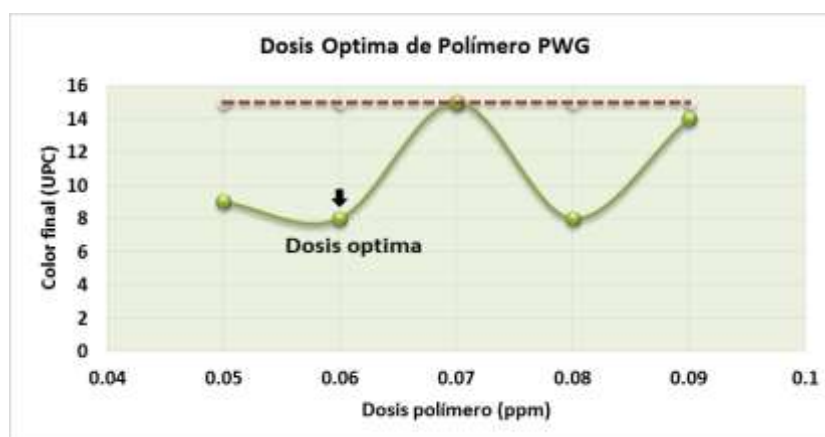


Figura 27. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 40 UPC de color inicial

Análisis de Resultados

Al tener una muestra de agua con valores no muy elevados de color y turbiedad, el proceso de clarificación del agua cruda no suele ser muy eficaz, el flóculo formado no tiene el peso suficiente para poder precipitar con facilidad y en menor tiempo, el índice de Willcob en este caso es 6, donde el floc formado es claro y grande pero precipita con lentitud y no en su totalidad (Yagual y Torres, s.f.), en el líquido aún existen flóculos flotando, lo que genera que no se remueva en su totalidad el color del agua. Esto se



puede comprobar con los resultados que se acotan en la tabla 27, cuyos resultados se encuentran entre un rango de 8 y 15 UPC y con valores bajos de remoción de turbiedad.

La dosis óptima se estima que es 0,06 ppm de polímero 1560 PWG, por requerir una menor dosis para la remoción de color y turbiedad, además por encontrarse el valor de la turbiedad alrededor de 1 NTU.

Cuarto ensayo

Tabla 32. Datos para determinar dosis óptima de polímero PWG de una muestra de agua con color inicial de 31 UPC.

Parámetros Iniciales	Dosis de polímero PWG (ppm)	Color Final (UPC)	Turbiedad Final (NTU)
31 (UPC) y 2,75 (NTU)	0,04	10	1,57
31 (UPC) y 2,75 (NTU)	0,05	9	1,72
31 (UPC) y 2,75 (NTU)	0,06	6	1,5
31 (UPC) y 2,75 (NTU)	0,07	3	1,16
31 (UPC) y 2,75 (NTU))	0,08	3	1,2

Fuente: Autor

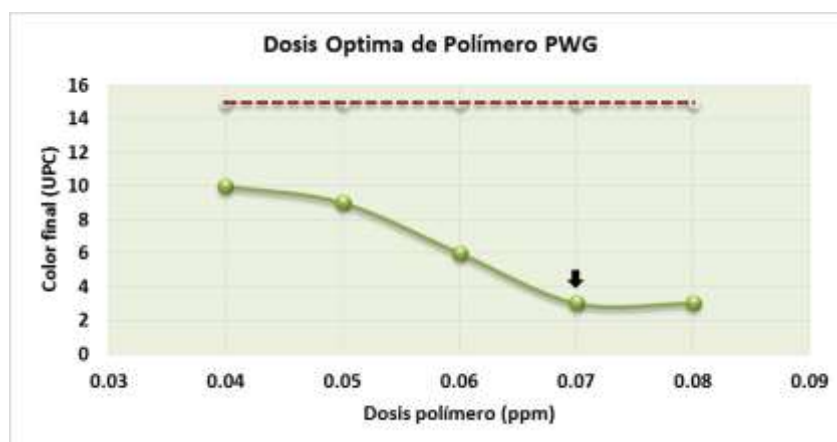


Figura 28. Dosis óptima de coagulante para una muestra de agua con 31 UPC de color inicial

Análisis de Resultados

Cuando se trata de una muestra de agua cruda que tiene mayor contenido de turbiedad los resultados son más acertados, como este caso, partiendo de una muestra de agua cruda con un color de 31 UPC y 2,75 NTU, los valores de color final y turbiedad descienden notoriamente, lo que explica el excelente trabajo de los coagulantes al desestabilizar las cargas y del polímero al ayuda a unir esas cargas desestabilizadas mediante enlaces físicos para generar masas voluminosas que sedimentan con mayor



facilidad. Los valores finales se encuentran muy por debajo de los límites máximos permitidos por la norma ecuatoriana para agua potable, por lo cual se establece que la dosis óptima de polímero 1560 PWG es de 0,07 ppm.

El índice de Willcob para este caso es de 8, lo que indica que se trata de un flóculo bueno, visible, que se deposita con facilidad pero no en su totalidad (Yagual y Torres, s.f.).

Quinto ensayo

Tabla 33. Datos para determinar dosis optima de polímero PWG de una muestra de agua con parámetros iniciales de 80 UPC y 5.13 NTU.

Parámetros Iniciales	Dosis de polímero PWG (ppm)	Color Final (UPC)	Turbiedad Final (NTU)
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,04	13	1,63
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,05	17	1,75
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,06	8	1,57
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,07	7	1,22
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,08	7	1,24
80 (UPC) y 5,13 (NTU)	0,09	7	1,26

Fuente: Autor

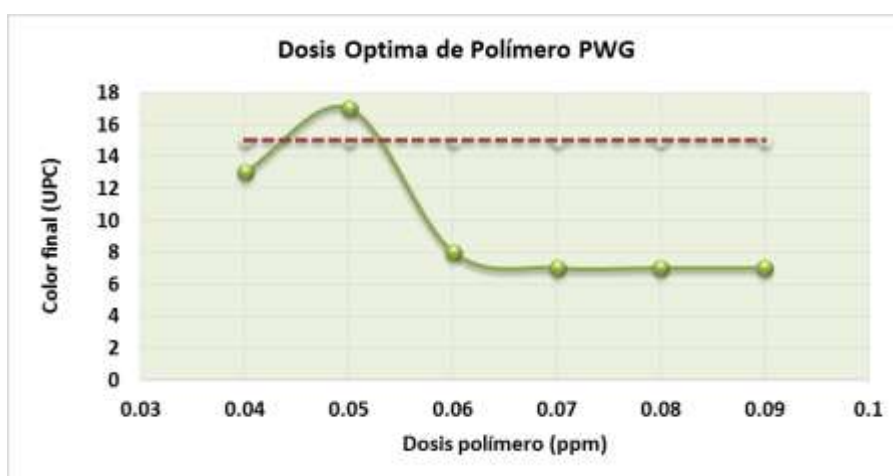


Figura 29. Dosis optima de coagulante para una muestra de agua con 80 UPC de color inicial

Análisis de Resultados

Partiendo de una muestra de agua cruda con valores muy elevados de color y turbiedad los resultados son muy satisfactorios, se logra una remoción significativa de color y turbiedad. Del ensayo realizado, 5 de las 6 jarras aportan valores de Color por debajo del límite máximo permitido por la NTE INEN 1108. En tanto que para el caso de



turbiedad se obtiene gran remoción en cada jarra. El proceso de clarificación es eficaz, requiriéndose de dosis bajas para lograr los requisitos que rige la norma ecuatoriana, por ello la dosis óptima es de 0,07 ppm de polímero 1560 PWG, obteniéndose un valor final de 7 UPC y 1.22 NTU.

El índice de Willcob es de 8, por tratarse de un flóculo bueno, visible que sedimenta con facilidad pero no totalmente (Yagual y Torres, s.f.).

5.4.1. Eficiencia del proceso de determinación de la dosis óptima del polímero catiónico 1560 PWG.

Para evaluar la eficiencia del proceso se empleará la ecuación 2 que se acota en los ítems anteriores. Los resultados obtenidos en la prueba de Jarras para la determinación de la dosis óptima del polímero catiónico se sustituyen en la ecuación 2 y los resultados que reflejan la eficiencia del proceso se indican en la tabla 34.

Tabla 34. Eficiencia de Remoción de Color para la determinación de dosis optima de polímero 1560 PWG

Dosis polímero PWG (ppm)	% Remoción Color Inicial 63	% Remoción Color Inicial 51	% Remoción Color Inicial 40	% Remoción Color Inicial 31	% Remoción Color Inicial 80
0,04	-----	-----	-----	67,74	83,75
0,05	82,54	-----	77,5	70,97	78,75
0,06	74,60	88,24	80	80,65	90
0,07	74,60	90,20	62,5	90,32	91,25
0,08	60,32	84,31	80	90,32	91,25
0,09	-----	72,55	65	-----	91,25

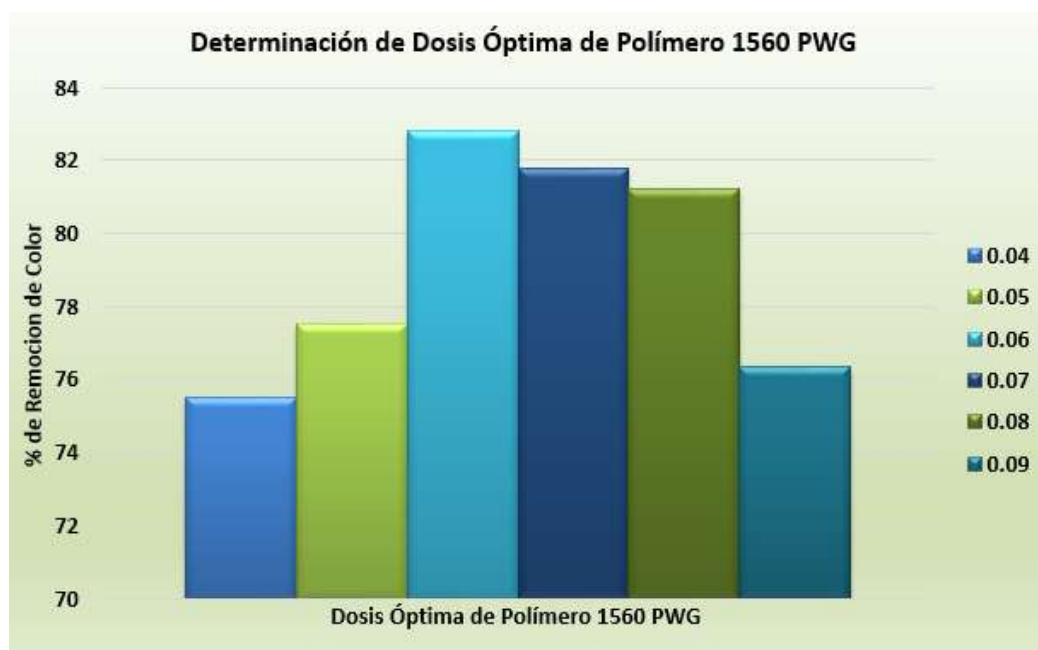


Figura 30. Determinación de dosis óptima de polímero 15-60 PWG.

Análisis de Resultados

Se estima la eficiencia del proceso para la determinación de la dosis óptima de polímero 1560 PWG, mediante los valores obtenidos en la prueba de jarras. Los ensayos se han realizado con dosis variables que comprenden desde los 0,04 ppm hasta las 0,09 ppm, notándose que a bajas y altas concentraciones no existe gran remoción de color, en el primer caso puede deberse a una cantidad muy baja de polímero que al momento de hidrolizarse no se descompone en cantidades suficientes como para causar la aglomeración total de las masas, por el contrario a dosis muy elevadas como es 0,09 ppm puede existir una sobredosis de polímero que cause el efecto contrario al deseado, reflejándose así los valores bajos de remoción de color.

La dosis óptima estimada al culminar con los diversos ensayos de prueba de jarras, es la dosis de 0,06 ppm de polímero 1560 PWG, una dosis que refleja el comportamiento del agua dependiendo las condiciones meteorológicas que se dispongan. Es así, que la dosis obtenida será eficaz para la época que se presenta mayor variación de color y turbiedad, en tanto que en épocas de verano puede ser omitida la dosificación del polímero.



Conclusiones

- Al realizar un diagnóstico de la situación actual de Planta de tratamiento de Agua del Cantón Cañar se concluye que los procesos a los cuales es sometida el agua cruda son correctos, empleando para ellos tecnología adecuada, coagulante y floculante acorde a las necesidades y sobre todo porque cumplen con los parámetros óptimos para el correcto funcionamiento. Una observación que se tuvo al realizar el análisis de las etapas de tratamiento del agua de la planta fue en el proceso de Floculación, al considerar que no se está dejando suficiente tiempo para que se dé una correcta reacción entre el agua y el coagulante (Sulfato de Aluminio grado B) ya que se incorpora con una mínima diferencia de segundos el ayudante de floculación (polímero 1560 PWG), razón por la cual a partir del quinto ensayo se modificó el tiempo de dosificación del polímero, siendo este colocado al iniciar la Memoria 3 correspondiente a 28 RPM y ocasionando un tiempo de reacción de 11 minutos, dando esta modificación buenos resultados por lo que es incorporado cuando las cargas de los coloides han sido desestabilizadas y requieren de un ayudante de floculación para agrupar las partículas mediante puentes que generan flóculos con mayores pesos y masas.
- Se obtuvo la curva de dosificación de Sulfato de Aluminio grado B en función del color del agua, debido a que este es el parámetro más afectado cuando se dan cambios especialmente ocasionados por las condiciones climatológicas. Para la elaboración de la misma se realizó varios ensayos en el equipo de Jarras de la Planta de Potabilización de Agua del Cantón Cañar, obteniendo un índice de Willcob que se encuentra entre 4 y 8, lo que refleja que es proceso no es 100% eficiente debido a la presencia de flóculos en el líquido después del tiempo empleado para la sedimentación. Uno de los factores que más influye es la temperatura, debido a que cuando llueve mucho la temperatura del agua baja y al existir menor temperatura, habrá menor velocidad de sedimentación porque se ve afectada la energía cinética de las partículas que se hallan en suspensión, dando como resultado menor colisión entre ellas. Otro factor que se ve



influenciado es la baja turbiedad que se dispone, generalmente los valores para agua cruda se encuentran por debajo de lo que rige la norma ecuatoriana para agua ya tratada que es de 5NTU y en casos muy raros se ve fuera de ese valor, razón por la cual, al tener una turbiedad baja y coloración muy elevada origina que el flóculo formado no tenga suficiente peso y tamaño para sedimentar completamente, ya que el agua estaría formada por partículas de ácidos orgánicos y origen vegetal, cuyas densidades son bajas comparadas con las partículas coloidales que originan la turbiedad.

- El poli electrolito o polímero más eficiente comparando entre el polímero PRAESTOL 650 TR y el Polímero 1560 PWG, fue el polímero 1560 PWG, con él se obtuvo un gran porcentaje de remoción de color y turbiedad. Cabe recalcar que al culminar con el primer ensayo se obtuvo turbiedades negativas, lo que indica que no hubo remoción, sino el efecto contrario, y esto se debió a la baja turbiedad del agua cruda, llegando a la conclusión que cuando el agua cruda llega a la Planta de Tratamiento con moderada coloración y muy baja turbiedad y se incorpora un ayudante de floculación se produce el efecto contrario al deseado porque el polímero al hidrolizarse se pegará a una partícula y no formara puentes físicos, creando de esa manera mayor turbiedad residual.
- Se estableció la dosis óptima del polímero 1560 PWG, que fue de 0,06 ppm; resultado que fue obtenido al analizar varias muestras de agua con diferentes valores de color y turbiedad.



Recomendaciones

- Para el caso concreto de la Planta de Tratamiento de Agua del Cantón Cañar, se recomienda hacer pruebas con coagulantes alternativos como son los PAC'S debido a la baja turbiedad del agua cruda que se dispone, al emplear estos coagulantes alternativos presentan una gran ventaja frente al coagulante convencional que es el Sulfato de Aluminio, ya que los PAC'S tienden agruparse en cadenas o esferas con diámetros menores, originando así una menor turbiedad en suspensión que el Sulfato de Aluminio. Además porque los coagulantes alternativos son coagulantes de Aluminio pre hidrolizado que se espera que no dejen residuos en el agua debido a que no tendrían mayor impacto con relación al pH a diferencia del Sulfato de Aluminio que se hidroliza y deja residuos de Aluminio cuando no se trabaja a un pH óptimo.
- Se recomienda modificar el tiempo de dosificación del polímero para que exista mayor contacto entre el agua y el coagulante, y a su vez mayor efectividad en el proceso porque se incorporaría el polímero minutos después de la desestabilización de las cargas de los coloides.
- Se recomienda cambiar la dosis de polímero 1560 PWG de 0,09 ppm a 0,06 ppm, debido a que se requiere dosis menores para eliminar un mayor porcentaje de color, además se recomienda que sea dosis menores porque al ser polímeros sintéticos dejan monómeros residuales que son muy tóxicos.
- Se recomienda emplear la dosis de polímero 1560 PWG de 0,06 ppm únicamente cuando el agua presente valores elevados de color y turbiedad, caso contrario no porque en vez de mejorar el proceso lo empeora al formar microflóculos que no son unidos mediante puentes físicos que logra la remoción de color y turbiedad.



Referencias

1. Argudo y Calle. (2015). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Recuperado el 08 de Febrero de 2018 de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0360016820001_PDOT%20CHOROCOPE%202015_29-10-2015_12-26-59.pdf
2. Badui Dergal, S. (2012). *La Ciencia de los alimentos en la práctica*. (primera edición) México: Pearson Educación.
3. Betancur, B., Jiménez, D. & Linares, B. (2012). Potencial Zeta (Z) como criterio de optimización de dosificación de coagulante en planta de tratamiento de agua potable. *Dyna*, vol. 79, (núm., 175):166-172.
4. Calle Idrovo, L. y Zambrano Torres, C. (2015). *Optimización de los procesos de Floculación y Coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca.
5. Carpio Garcés, R. (s.f). *Memoria de Evaluación Hidráulica Sanitario de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Cañar*. Cañar.
6. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (Sin fecha). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México.
7. Chulluncuy Camacho, C. (2011). Tratamiento de Agua para consumo humano. Redalcy.org. N°29. 2011. pp. 153-170.
8. Espín Rodríguez, V. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la planta potabilizadora del Cantón Palora, provincia de Morona Santiago*. Tesis de pregrado. Universidad Estatal Amazónica. Puyo.
9. Giraldo Alzate, J. (2014). *Enseñanza-Aprendizaje de conceptos químicos a partir de prácticas de laboratorio con cloruro de sodio*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
10. González, M. (sin fecha). *TABLAS Y GRÁFICOS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS*. Recuperado de: <https://marcanord.files.wordpress.com/2012/11/guia-propiedades-de-los-fluidos-industrial.pdf>
11. Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, vol. 16, (1): 253 – 262.
12. Hernández, W. (2014). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento*.
13. Hermida, D. “*DISEÑO DE LA PÁGINA WEB AGUACONCIENCIA COMO HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN SOBRE EL RECURSO AGUA*”. Recuperado el 18 de Diciembre de 2017 de: http://sameens.dia.uned.es/Trabajos9/Trab_Publicos/Trab_2/Rafiq_Candido_2/potabilizacio-del-agua.gif



14. Hinojosa Alanís, R. (2012). *Diseño de un filtro piloto para detectar áreas de oportunidad de Mejora en el proceso de filtración directa, en una planta Potabilizadora*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León.
15. Illanes Huamán, A. (2014). *Exposición de potabilización de aguas*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2017 de <https://es.slideshare.net/antenorillaneshuaman/exposicion-de-potabilizacion-de-aguas>
16. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos. Quito, Ecuador.
17. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NTE INEN 2169: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. Quito, Ecuador.
18. Jiménez Andrango, T & Medina de la Torre, J. (2017). *Influencia de la dilución del sulfato de aluminio en la eficiencia de la coagulación en la potabilización del agua*. Tesis de pregrado. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
19. Marín Galvín, R. (sin fecha). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf
20. Melo Parra, A. y Herrera Delgado, S. (2016). *Diseño y Construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia*. Tesis de pregrado. Universidad Católica de Colombia. Bogotá.
21. Merizalde Proaño, S. (2017). *Propuesta de potabilización del sistema de agua potable de la parroquia pedernales*. Tesis de pregrado. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
22. Municipal Intercultural del Cantón Cañar. (2013). *Actualización de los Estudios y Diseños Definitivos del Plan Maestro de Alcantarillado para la ciudad del Cañar, Provincia del Cañar*. Cañar: Chalco García, J., León, T., Cevallos, E. & Calderón, G.
23. Núñez Camacho, M. (2015). *Definición de opciones de mejora en una planta de agua potable*. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Quito.
24. Peón Peralta, J. (2011). *La estructura molecular del agua*. Recuperado el 11 de Diciembre de 2017 de <http://docplayer.es/14775049-La-estructura-molecular-del-agua.html>.
25. Salazar Jiménez, S., Rojas Monsalvo, G. & Carrilo Morón Y. (2016). *Uso de coagulantes orgánicos e inorgánicos en el proceso físico-químico coagulación - floculación del afluente de un sistema lótico*. Tesis de pregrado. Universidad Popular del Cesar. Valledupar- Colombia.
26. Vaquero y Toxqui (2012). Prologo. En Carbajal Azcona, A. y González Fernández, M. *Agua para la salud. Presente, pasado y futuro*. (pp. 33-45).



UNIVERSIDAD DE CUENCA

27. Velázquez, R. (2015). *Plantas de Tratamiento de Agua o Plantas Potabilizadoras*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2017 de <https://prezi.com/vgznzsiuvc5/plantas-de-tratamiento-de-agua-o-plantas-potabilizadoras/>
28. Yagual, M. y Torres, F. (s.f.). *Análisis comparativo del proceso de coagulación – floculación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el Río Babahoyo en la provincia del Guayas*. Recuperado el 06 de Abril de 2018 de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24143/1/ICQA_Analisis%20comparativo%20de%20proceso%20de%20floculacion.pdf
29. Zerbato, M. (2012). *Coagulación optimizada en el tratamiento de potabilización de agua: Su efecto sobre la remoción de entero parásitos*. Tesis para la obtención del grado académico de Magister en Salud Ambiental. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe-Argentina.